

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA MECÁNICA**

**Trabajo de Titulación previa a la obtención del Título de:
INGENIEROS MECÁNICOS**

**Tema:
DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA
MÁQUINA PELETIZADORA DE ALIMENTOS BALANCEADOS
PARA EL SECTOR PECUARIO CON CAPACIDAD DE 100 kg/h**

**AUTORES:
EDISON FERNANDO ALBÁN YÉPEZ
ÁNGEL SANTIAGO ARIAS ROMO**

**TUTOR:
MILTON SALOMÓN JAMI LEMA**

Quito, Agosto del 2019

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Edison Fernando Albán Yépez con documento de identificación N° 1723533533 y Ángel Santiago Arias Romo con documento de identificación N° 1726117680, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA PELETIZADORA DE ALIMENTOS BALANCEADOS PARA EL SECTOR PECUARIO CON CAPACIDAD DE 100 kg/h”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En la aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Edison Fernando Albán Yépez

C.I. 1723533533



Ángel Santiago Arias Romo

C.I. 1726117680

Quito, Agosto del 2019

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación, “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA PELETIZADORA DE ALIMENTOS BALANCEADOS PARA EL SECTOR PECUARIO CON CAPACIDAD DE 100 kg/h”, realizado por los señores, Edison Fernando Albán Yépez y Ángel Santiago Arias Romo, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.



Ing. Milton Salomón Jami Lema

C.I.: 1707254171

Quito, Agosto del 2019

DEDICATORIA

A mi madre, familia y amigos.

Edison Fernando Albán Yépez

A mis padres por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mis hermanas por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional sin importar nuestras diferencias de opiniones. A mi tutor quien ha estado aportando todo su conocimiento para que este trabajo culmine con éxito.

Ángel Santiago Arias Romo

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Politécnica Salesiana, al Ingeniero Milton Jami por su instrucción y apoyo en la realización y culminación de este proyecto.

A mi madre, familia y amigos.

Edison Fernando Albán Yépez

A la Universidad Politécnica Salesiana, al Ingeniero Milton Jami por su instrucción y apoyo en la realización y culminación de este proyecto.

A mis padres por todo su apoyo y por tener que soportar tantas malas noches, a mis hermanas por todo su acolite, inmensamente agradecido.

Finalmente agradecer a María Fernanda que me dio fuerzas al final para poder culminar el proyecto de la mejor manera.

Ángel Santiago Arias Romo

Índice

CAPITULO I.....	1
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Generalidades.....	1
1.1.1 Peletización de los balanceados para el sector pecuario	1
1.1.2 Características del pellet	2
1.1.3 Tipos de pellets para el sector pecuario	4
1.2 Maquinaria empleada para la producción de pellets	5
1.2.1 Tipos de peletizadoras.....	5
1.2.2 Generalidades de la peletizadora de matriz giratoria	7
1.2.3 Peletizadora de matriz plana y rodillos giratorios.....	9
1.2.4 Materiales empleados en la fabricación de la peletizadora.....	11
1.2.5 Selección del motor.....	12
1.3 Fases del proceso productivo	14
1.3.1 Materia Prima.....	15
1.3.2 Peletizado	15
1.3.3 Enfriado.....	15
CAPITULO II	16
2. DISEÑO	16
2.1 Método de factores ponderados para seleccionar la peletizadora	16
2.2. Cálculo de los elementos de la máquina peletizadora.....	17
2.2.1 Sistema de alimentación de material a ser peletizado	18
2.2.2 Ecuaciones del sistema de transmisión de potencia.....	20
2.2.3 Ecuaciones del sistema de compresión y extracción.....	39
2.2.4 Sistema de corte del balanceado	45
2.2.5 Ecuaciones de la estructura	46
2.2.6 Cálculo de soldadura	48
2.2.7 Cálculo de pernos.....	54
CAPITULO III.....	57
3. ANÁLISIS DE COSTO Y RENTABILIDAD	57
3.1 Estudio de mercado.....	57
3.1.1 Estudio de la oferta y la demanda	57
3.1.2 Localización del proyecto	58
3.1.3 Ingeniería del proyecto.....	58

3.1.4 Dotación de insumos	59
3.1.5 Identificación del impacto ambiental	59
3.1.6 Personal requerido.....	59
3.2 Descripción del proyecto.....	59
3.2.1 Características del producto	60
3.2.2 Utilidad bruta y rentabilidad del producto	60
3.2.3 Inversión inicial.....	60
3.3 Indicadores de rentabilidad	61
3.4 Evaluación de VPN y TIR	62
3.5 Período de retorno (PAY-BACK).....	63
CAPITULO IV	64
4. Análisis y Resultados	64
4.1 Generalidades de la empresa beneficiaria del proyecto	67
4.2 Pruebas	67
4.2.1 Ingredientes del balanceado	67
4.2.2 Proceso de molido y mezclado.....	68
4.2.3 Peletizado de la mezcla	69
4.3 Conclusiones	71
4.4 Recomendaciones.....	72
Bibliografía	73

Índice de Figuras

Figura 1. Principales materias primas para la elaboración de pellets.	2
Figura 2. Tipos de balanceados en pellet empleados en el sector pecuario.	2
Figura 3. Clases de pellets según la etapa de desarrollo.	3
Figura 4. Partes de una peletizadora de matriz plana	6
Figura 5. Partes de una peletizadora de matriz anular	6
Figura 6. Esquema de funcionamiento del sistema de transmisión	7
Figura 7. Sistema de compresión y extrusión	8
Figura 8. Sistema de Corte del Pellet	8
Figura 9. Sistema de alimentación tipo tolva	9
Figura 10. Plano de conjunto de la maquina peletizadora.	10
Figura 11. Motor Briggs & Stratton 16hp, modelo: XR1150 Professional	12
Figura 12. Curva de potencia del motor	13
Figura 13. Curva de torque vs número de revoluciones.....	14

Figura 14. Flujograma de la producción del pellet.	14
Figura 15. Vista isométrica de la tolva	18
Figura 16. Simulación de la tolva en SOLIDWORKS.	20
Figura 17. Esquema del sistema de poleas.....	20
Figura 18. Grafica para la selección de tipo de banda	22
Figura 19. Elemento en 3D y diagrama de cuerpo libre del eje vertical.....	23
Figura 20. Factores de acabado superficial por NOLL para aceros	26
Figura 21. Factor de confiabilidad por NOLL para ejes	27
Figura 22. Diagrama de fuerzas y momentos del eje vertical.....	28
Figura 23. Diagrama de esfuerzos del eje vertical.....	29
Figura 24. Selección del factor de confiabilidad	31
Figura 25. Diagrama de fuerzas y momentos del eje horizontal.....	32
Figura 26. Parámetros de carga y geométricos rodamiento NTN-30305	33
Figura 27. Datos de carga y geometría del rodamiento NTN-6306	34
Figura 28. Esquema del sistema de engranajes cónicos.....	34
Figura 29. Medidas de un engrane cónico de dientes rectos.....	35
Figura 30. Datos de carga y geometría rodamientos NTN-6206-2Z	39
Figura 31. Principio de peletizado mediante matriz plana por Handbook.....	40
Figura 32. Diagrama de una peletizadora de matriz plana por Handbook.....	41
Figura 33. Tabla de coeficientes de rozamiento.....	41
Figura 34. Datos geométricos y de carga del rodamiento NTN-6305	42
Figura 35. Modelo en 3D de la cámara de engranajes.	43
Figura 36. Malla generada sobre la cámara de compresión por el software.....	43
Figura 37. Análisis de tensiones en la cámara de engranajes.	44
Figura 38. Análisis de desplazamiento de la cámara de engranajes.	44
Figura 39. Imagen 3D del sistema de corte.....	45
Figura 40. Diagrama de la placa para corte.....	45
Figura 41. Diagrama 3D y Diagrama de fuerzas aplicadas sobre la estructura.	46
Figura 42. Simulación de cargas sobre la estructura.....	47
Figura 43. Análisis de desplazamiento máximo	48
Figura 44. Análisis de factor de seguridad.....	48
Figura 45. Propiedades mínimas del material de aporte	49
Figura 46. Esfuerzo permisible del código AISC para metal de aporte.....	49
Figura 47. Diseño de la junta soldada para la estructura.	50

Figura 48. Diseño de la junta soldada para la cámara de engranajes.....	52
Figura 49. Propiedades flexionantes de la soldadura de filete.....	53
Figura 50. Límite de fluencia para pernos	54
Figura 51. Área de resistencia a la tracción perno	55
Figura 52. Especificaciones técnicas del perno.....	55
Figura 53. Diagrama de esfuerzos cortantes en el perno	56
Figura 54. Instalaciones donde funcionara la peletizadora y bodegas.	67
Figura 55. Maíz molido y Afrecho de trigo.	68
Figura 56. Aceite de palma y Sales específicas.	68
Figura 57. Molino de maíz y sarandeadora.....	69
Figura 58. Mezcladora industrial.	69
Figura 59. Precalentamiento de los rodillos.....	70
Figura 60. Proceso de compresión.	70
Figura 61. Conformación del balanceado en pellets	70

Índice de Fotografías

Fotografía # 1. Construcción de la estructura.	76
Fotografía # 2. Elaboración de la caja de engranajes.....	76
Fotografía # 3. Elaboración de los engranajes cónicos	76
Fotografía # 4. Elaboración del porta rodamientos.....	77
Fotografía # 5. Matriz plana.....	77
Fotografía # 6. Tapa de la caja de engranajes.	77
Fotografía # 7. Peletizadora durante el proceso de ensamblado.	78
Fotografía # 8. Peletizadora durante el proceso de acabados.....	78
Fotografía # 9. Instalación del motor en la máquina peletizadora	79
Fotografía # 10. Pruebas realizadas en la máquina	79

Índice de Tablas

Tabla 1. Características físicas del pellet	3
Tabla 2. Materiales empleados en la fabricación de la maquina.....	11
Tabla 3. Especificaciones técnicas del motor	13
Tabla 4. Tipos de peletizadoras consideradas para el análisis	16
Tabla 5 Factores considerados para la selección.....	16
Tabla 6. Índice de evaluación mediante puntos	17
Tabla 7. Aplicación del método de factores ponderados	17
Tabla 8. Principales medidas de los engranes cónicos.....	35
Tabla 9. Fuerzas presentes en el engranaje	36
Tabla 10. Propiedades del material de los engranes	37
Tabla 11. Factores dinámicos según AGMA para engranajes	37
Tabla 12. Factores de contacto según AGMA para engranajes	37
Tabla 13. Factores de plagado según AGMA para engranajes	38
Tabla 14. Factores de seguridad del engranaje	38
Tabla 15. Procedimiento de soldadura para la estructura	51
Tabla 16. Procedimiento de soldadura para la cámara de engranajes.....	53
Tabla 17. Personal para operaciones	59
Tabla 18. Características del producto	60
Tabla 19. Utilidad y rentabilidad	60
Tabla 20. Inversión del proyecto.....	61
Tabla 21. Movimiento de flujo en los 5 primeros años.....	63
Tabla 22. Resultados de pruebas, dimensiones.....	64
Tabla 23. Pruebas de peletizado con variación de humedad.....	65

Resumen

El presente trabajo tiene como finalidad diseñar y construir un sistema para la fabricación de alimentos balanceados en forma de pellets cilíndricos los cuales deberán tener aproximadamente 5mm de diámetro y 10mm de largo. Para lo cual se plantea fabricar una máquina peletizadora de matriz fija y rodillos de compresión giratorios la misma que está constituida en cuatro subsistemas fundamentales: sistema de alimentación de la materia prima, sistema de compresión del producto, sistema de corte de los pellets y sistema de transmisión de movimiento.

El sistema de alimentación estará constituido por una tolva de 0,065m³ con dosificación mediante compuerta manual, el sistema de compresión constara de una matriz plana y rodillos giratorios en acero inoxidable, el sistema de corte lo conforma una cuchilla de acero inoxidable la cual tiene como finalidad realizar el corte de los pellets a la longitud deseada y como último está el sistema de transición de movimiento conformado por un motor a gasolina de 16hp el cual transmite su potencia al sistema de compresión mediante un sistema de poleas y engranajes.

Palabras clave: Pellets, Balanceados, Matriz fija, Rodillos de Compresión.

Abstract

The purpose of this work is to design and build a system for the manufacture of balanced feed in the form of cylindrical pellets, which should be approximately 5mm in diameter and 10mm long. For which it is proposed to manufacture a pelletizing machine of fixed matrix and rotating compression rollers the same that is constituted in four fundamental subsystems: feeding system of the raw material, product compression system, pellet cutting system and system of transmission of movement.

The feeding system will be constituted by a hopper of 0.065m³ with dosing by manual gate, the compression system will consist of a flat matrix and rotating rollers in stainless steel, the cutting system is formed by a stainless steel blade which has as purpose to make the cut of the pellets to the desired length and as last is the movement transition system formed by a 16hp gasoline engine which transmits its power to the compression system through a system of pulleys and gears.

Keywords: Pellets, Balanced, Fixed Matrix, Compression Rollers.

Introducción

El proceso de peletización se puede definir como el moldeado de varias partículas pequeñas, en este caso alimentos en forma de harinas, en partículas con mayor tamaño, mediante conformado por presión [1].

El uso de alimentos balanceados en forma de pellets fue implementado por primera vez en Europa en el año 1930, es decir que la implementación de esta forma de alimentos lleva aproximadamente ocho décadas en las cuales los procesos y formas han ido cambiando continuamente hasta alcanzar técnicas más modernas y eficientes para producir el pellet [2].

A lo largo de todos estos años se han realizado estudios acerca del beneficio de usar alimentos balanceados en forma de pellets versus alimentos balanceados en forma de harinas, en todos los casos el uso de pellets tiene grandes ventajas debido a que minimiza desperdicios, aumenta el tiempo de conservación, disminuir agentes patógenos a causa de la humedad ambiental, entre otros [3].

El uso de una maquina peletizadora de matriz plana giratoria y rodillos estáticos es la forma más rentable de fabricar alimentos balanceados a mediana y baja capacidad debido a que permite elaborar distintos tamaños de pellets con una sola maquinaria además de que permite peletizar prácticamente todo tipo de compuestos [4].

Objetivos

Objetivo General

Diseñar y construir una máquina peletizadora de alimentos balanceados para el sector pecuario con capacidad de 100 kg/h impulsada con un motor a gasolina.

Objetivos Específicos

Realizar el estudio de la producción actual de pellets de alimentos balanceados en la empresa “Distribuidora Cadena”.

Seleccionar el equipo más viable para la fabricación de pellets de alimento balanceado mediante una matriz de selección.

Diseñar y construir las diferentes partes de la máquina peletizadora para compactar hasta 100kg/h de producto.

Realizar un análisis económico de la máquina.

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Generalidades

1.1.1 Peletización de los balanceados para el sector pecuario

El proceso de peletización de alimentos balanceados se define como el moldeado de una masa de pequeñas partículas (harina y aglutinantes) en partículas más grandes o pellets, mediante procedimientos mecánicos, presión, calor y humedad [5].

Para la formación del pellet se debe comprimir el alimento balanceado entre una matriz plana o anular y un par de rodillos de compresión entre los cuales se compactan las partículas de harina hasta formar un cuerpo cilíndrico que las compone, adicionalmente se debe cumplir condiciones específicas durante el proceso de peletizado tales como: porcentaje de humedad de la mezcla, temperatura y flujo del material, para garantizar la correcta compactación de las partículas durante y después del proceso, todas las demás actividades, tales como: enfriamiento, filtración y empaquetamiento de los pellets, son actividades que preceden al proceso de fabricación [3].

La producción de alimentos balanceados en forma de pellets tiene como principal objetivo conservar las propiedades nutricionales del alimento durante un mayor periodo de tiempo, disminuir desperdicios durante la suministración a los animales, reducir organismos patógenos que puedan contaminar el alimento, mejorar el crecimiento y la conversión alimenticia de los animales, se mejora la palatabilidad y digestibilidad del alimento y posibilidad de suministrar medicamentos que mejoran el rendimiento de los animales [6].

Para producir alimentos balanceados de una excelente calidad se debe comenzar con la selección de los ingredientes, aglutinantes y vitaminas de primer nivel, previamente se debe realizar un estudio de los requerimientos nutricionales para cada raza de animal, además se debe tomar en cuenta en qué etapa de crecimiento se suministrara el pellet ya que los requerimientos de proteínas y vitaminas son distintos dependiendo si el animal se encuentra en crecimiento, desarrollo o en su etapa de

finalización. En todos estos casos, además de los componentes del pellet, cobra una gran importancia el tamaño y forma del comprimido dándonos como resultado distintas variedades de balanceados para una sola raza de animal [7].

En la siguiente fotografía se presenta las principales harinas y pre-mezclas empleadas en nuestra región para la fabricación de balanceados destinadas al sector pecuario.



Figura 1. Principales materias primas para la elaboración de pellets. Elaborado por: Fernando Albán & Ángel Arias

1.1.2 Características del pellet

1.1.2.1 Dimensiones de un pellet

En la fotografía se muestran los distintos tipos de pellets empleados para cada case de animal, como se puede observar la longitud del aglomerado no varía significativamente en las cuatro clases de pellets analizados, sin embargo, el diámetro es directamente proporcional al tamaño del animal, es así que entre más grande sea el animal que se beneficie del alimento balanceado, el pellet tiende a tener un mayor diámetro.



Figura 2. Tipos de balanceados en pellet empleados en el sector pecuario. Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

En la tabla 1 se presentan las dimensiones del pellet empleado para los distintos tipos de animales, adicionalmente se presenta su peso promedio y su densidad. Para la toma de datos se seleccionaron balanceados de la marca “NUTRIL”, debido a que esta marca es la de mayor comercialización en el sector donde se implementara el proyecto.

Tabla 1. Características físicas del pellet

TIPO GANADO	Largo [mm]	Diámetro [mm]	Peso [g]	Densidad [kg/m³]	Humedad [%]
Aves	4-8	4	0.005	650-700	< 10
Vacas	10-15	8	0.008	700-750	< 15
Cerdos	5-10	6	0.008	700-750	< 15
Conejos	5-10	5	0.009	600-650	< 8

Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

En la fotografía se muestra la línea completa de balanceados empleados para la producción avícola en la marca “NUTRIL”, se observa la variación en el tamaño de los pellets de acuerdo a la etapa de desarrollo de las aves. Para el proyecto se plantea la construcción de una maquina peletizadora con una matriz plana que produzca tamaños de pellets similares a los de la etapa de crecimiento, debido a que se realizaron estudios y se determinó que este tipo de alimento balanceado es el de mayor comercialización.

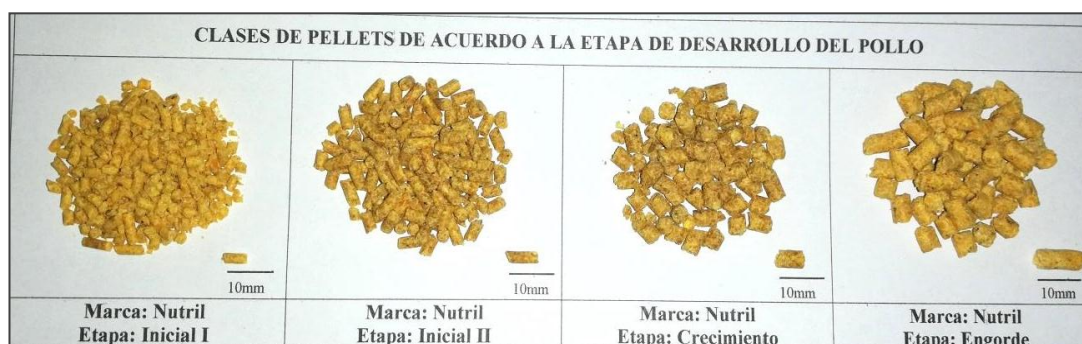


Figura 3. Clases de pellets según la etapa de desarrollo. Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

1.1.3 Tipos de pellets para el sector pecuario

1.1.3.1 Pellets de balanceado para aves

Cuando se ofrece alimento en harina (sin pasar por la peletizadora) a las aves se limita la completa nutrición del animal, las aves son animales sumamente selectivos y solo comerán aquellas partículas de ingredientes que no han sido bien homogenizadas en el mezclador o aquellas partículas que llamen su atención como piezas de maíz, sorgo o harinas que no han sido bien molidas [8].

1.1.3.2 Pellets de balanceado para ganado vacuno

La producción y calidad de la leche depende directamente de la absorción de los nutrientes del alimento balanceado. Esto significa que el alimento que el alimento de las vacas lecheras debe formularse a base de una relación científica para asegurar que el animal obtenga los nutrientes necesarios para su crecimiento y su producción diaria de leche [9].

1.1.3.3 Pellets para el sector porcino

El desempeño productivo de los cerdos está influenciado por varios factores, donde la nutrición sólida juega un papel muy importante en optimizar la respuesta productiva, se da un mayor enfoque a la composición nutricional del alimento y el ofrecimiento de una dieta sólida durante la lactancia. Generalmente el tamaño del pellet comercial para dietas de primeras fases es de 2-3 mm, esto se debe a que el lechón presenta una dentadura poco desarrollada y pequeña, sin embargo, luego de su etapa de crecimiento se recomienda aumentar el tamaño de pellet de 4-5 mm ya que su dentadura se ha desarrollado por completo [10].

1.1.3.4 Pellets empleados en la cunicultura

El alimento balanceado para conejos y cuyes, mejor conocido como conejina, es la principal fuente alimenticia para las crías en producción de carne de nuestro medio, aunque en muchas partes de la sierra ecuatoriana mayormente se alimentan de forraje, esto se debe a la disponibilidad de los recursos que se encuentran en los campos, sin embargo esta dieta no cuenta con los nutrientes necesarios para el

desarrollo del animal, los pellets cuentan con una dieta que también contiene forraje, para el desarrollo completo del animal [11].

1.2 Maquinaria empleada para la producción de pellets

La industria de balanceados en el Ecuador está gobernada por grandes corporaciones que poseen maquinarias de gran producción y avanzada tecnología, sin embargo, para satisfacer un mercado pecuario de mediana y baja producción es necesario la implementación de empresas que su fin sea satisfacer las necesidades específicas de cada productor de animales, para ello es necesario una máquina peletizadora versátil, económica y de fácil operatividad. En el mercado existen a la venta varios tipos de máquinas peletizadoras; de matriz anular, matriz plana, matriz de extrusión, entre otras.

1.2.1 Tipos de peletizadoras

En la industria existen un sinnúmero de máquinas peletizadoras las cuales tienen como fuerza motriz un motor eléctrico o un motor de combustión interna y se emplean para formar pellets de distintos materiales tales como: polímeros, madera, alimentos balanceados, entre otros. Sin embargo, se puede clasificar las máquinas peletizadoras por su principio de acción en dos tipos, de matriz plana y de matriz anular.

1.2.1.1 Peletizadora de matriz plana

Este tipo de peletizadora consta de una matriz plana en forma cilíndrica la cual posee un sinnúmero de perforaciones por las cuales pasa el material para ser comprimido con la ayuda de dos rodillos que giran sobre ella en forma de las manecillas de un reloj. Este tipo de peletizadora es empleada para niveles de producción bajos y medios, además su costo es relativamente bajo y permite procesar una gran variedad de productos. En la siguiente figura se señalan las principales partes que componen la peletizadora de matriz plana [12].

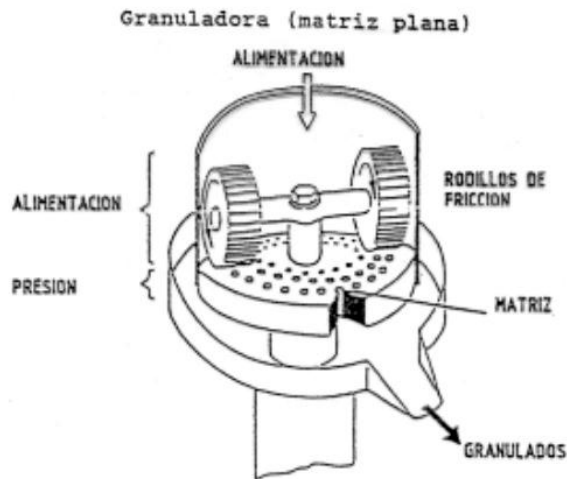


Figura 4. Partes de una peletizadora de matriz plana [1]

1.2.1.2 Peletizadora de matriz anular

Las peletizadoras de matriz anular constan de un cilindro hueco con perforaciones en su cuerpo el cual actúa como cámara de aglutinado, el material a ser peletizado es empujado por unos cilindros giratorios desde el interior hacia el exterior de la matriz. Este tipo de peletizadora es empleada para grandes volúmenes de producción, requiere una fuente energética de alta potencia por lo cual es utilizada mayormente a nivel industrial. Una de las principales desventajas de este tipo de producción de pellets es la poca versatilidad en compactar mezclas. En la siguiente figura se resaltan las partes principales de la peletizadora de matriz anular [12].

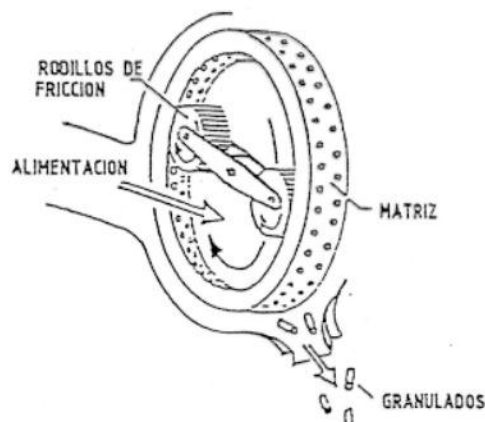


Figura 5. Partes de una peletizadora de matriz anular [1]

1.2.2 Generalidades de la peletizadora de matriz giratoria

Debido a que la peletizadora de matriz giratoria y rodillo estático es la más eficiente en el proceso de producción, fue la seleccionada para ser fabricada. La máquina está compuesta por cuatro sistemas los cuales se describen a continuación.

1.2.2.1 Sistema de transmisión de potencia

El sistema de transmisión de potencia tiene la finalidad de garantizar la transmisión de fuerza al sistema de compresión. El sistema se compone por un motor que transmite su torque a un eje el cual mueve un engranaje cónico cambiando la linealidad del movimiento a 90° para finalmente transmitir el movimiento a la matriz de extrusión. En la se muestra el esquema del sistema de transmisión.

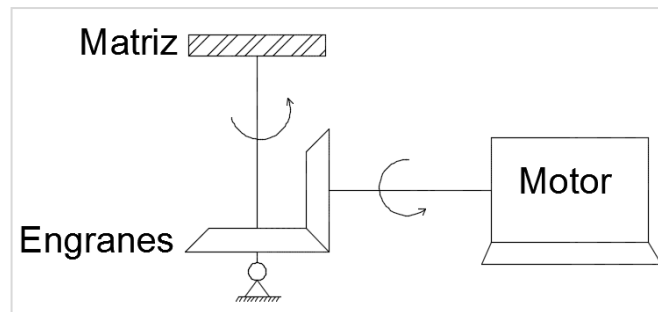


Figura 6. Esquema de funcionamiento del sistema de transmisión [1]

1.2.2.2 Sistema de compresión y extrusión de la materia prima

El sistema de compresión es en donde se conforma el alimento balanceado, pasando de un estado de partículas granuladas a capsulas comprimidas mediante la aplicación de presión. El principio de funcionamiento de este sistema es la extrusión, la matriz giratoria cumple la función de darle la forma de capsulas circulares al pellet, mientras que los rodillos estáticos son los encargados de comprimir la materia prima. Adicionalmente el sistema aprovecha la generación de calor a causa de la fricción para lograr que las partículas de alimento balanceado se fusionen entre ellas y se mantengan juntas una vez concluido el proceso de extrusión.

En el siguiente esquema se presenta el diagrama de funcionamiento del sistema de compresión.

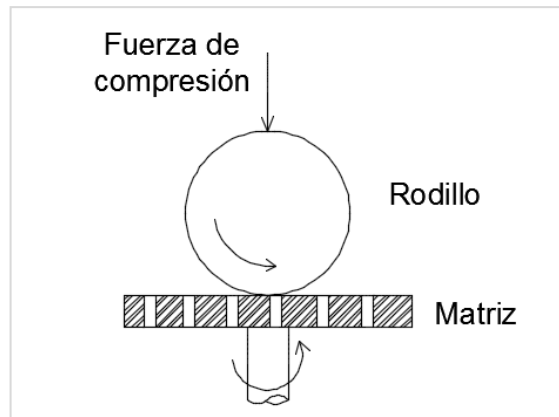


Figura 7. Sistema de compresión y extrusión [1]

1.2.2.3 Sistema de corte del pellet posterior a la extrusión

El sistema de corte está pensado para cortar el pellet después del proceso de extrusión, de esta forma podemos regular el tamaño del largo del pellet de acuerdo a nuestras necesidades. El sistema de corte consta de una única cuchilla la cual está ubicada debajo de la matriz de extrusión y cuya distancia entre la matriz es regulable. Debido a que las harinas que componen el pellet son muy abrasivas la cuchilla debe ser capaz de mantener su filo a pesar de estar sometida a condiciones de desgaste garantizando que el producto final sea de la más óptima calidad. En la siguiente ilustración se presenta el esquema del sistema de corte.

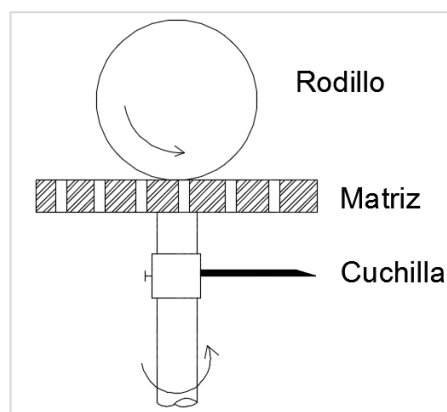


Figura 8. Sistema de Corte del Pellet [1]

1.2.2.4 Sistema de alimentación de materia prima

El sistema de alimentación es el encargado de proveer la dosis correcta de materia prima al sistema de compresión para garantizar la mayor eficiencia en la compresión y extrusión del pellet. El sistema de alimentación lo conforma una tolva cónica la

cual tiene un mecanismo de paso mecánico que permite el paso de la materia prima hacia la cámara de compresión. A continuación, se esquematiza el diagrama de la tolva que conforma el sistema de alimentación.

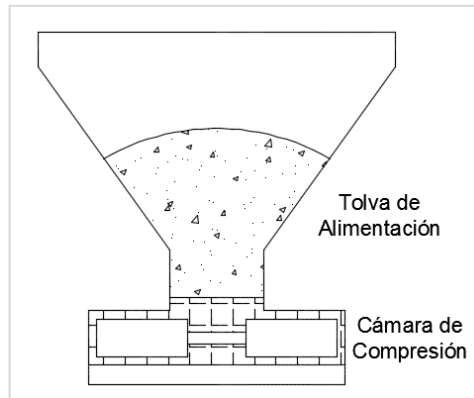


Figura 9. Sistema de alimentación tipo tolva [1]

1.2.3 Peletizadora de matriz plana y rodillos giratorios

Los sistemas de transmisión de potencia, aglomeración y sistema de corte del pellet se encuentran conjugados en una maquina cuya característica principal es que posee una gran robustez procurando que se disminuya al máximo las vibraciones, la maquina está montada sobre una estructura de tubo la cual está diseñada para soportar el peso de la peletizadora y las fuerzas que esta ejerce cuando se encuentra en funcionamiento.

A continuación, se presenta el plano de la maquina peletizadora con las principales partes que la componen.

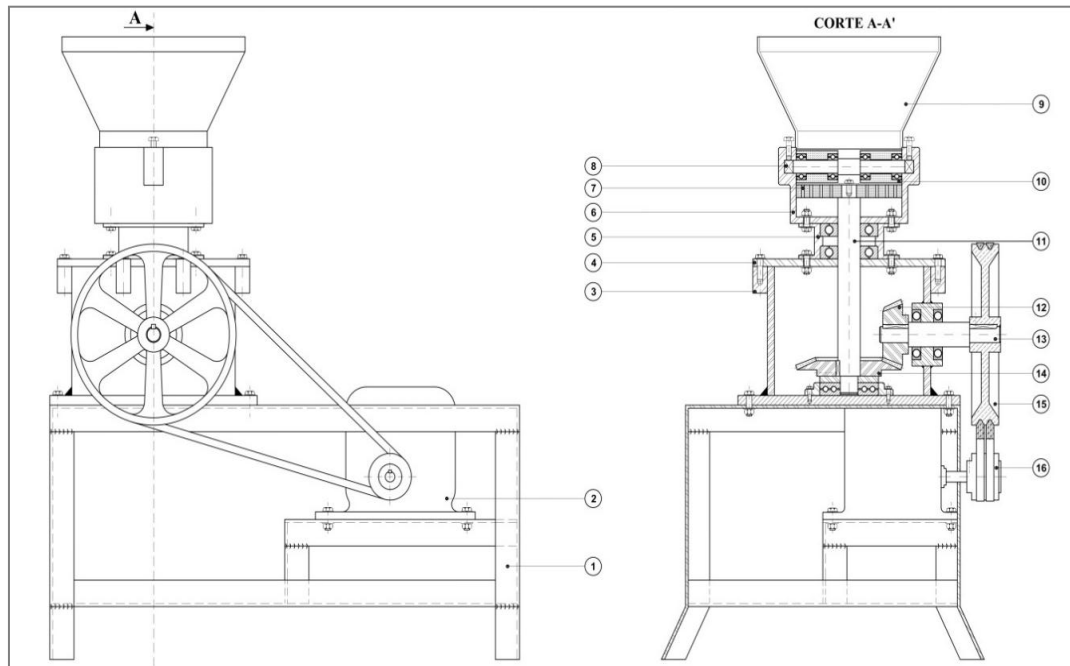


Figura 10. Plano de conjunto de la maquina peletizadora. Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

- 1.- Estructura
- 2.- Motor estático de 16hp
- 3.- Cámara de engranajes
- 4.- Tapa de cámara de engranajes
- 5.- Cámara porta rodamientos
- 6.- Cámara de compresión
- 7.- Matriz plana
- 8.- Ejes de rodillos de compresión
- 9.- Tolva
- 10.- Rodillos de compresión
- 11.- Eje de transmisión vertical
- 12.- Piñón cónico
- 13.- Eje de transmisión horizontal
- 14.- Rueda cónica
- 15.- Polea conducida
- 16.- Polea conductora

1.2.4 Materiales empleados en la fabricación de la peletizadora

La máquina peletizadora al ser empleada para el procesamiento de alimentos, debe estar elaborada con materiales anticorrosivos en sus principales elementos para de esta forma garantizar que el producto final esté libre de contaminantes.

Para garantizar un producto de óptima calidad se siguieron los parámetros establecidos en la “Norma técnica sanitaria para alimentos procesados” tomando en cuenta los siguientes artículos:

Art. 7.- “Pack de Alimentos procesados.- En caso que se vaya a comercializar un producto conformado por dos o más productos terminados de diferente naturaleza y envasados en su respectivo material de envase, cada uno de estos subproductos procesados deberá tener su respectiva notificación o inscripción y el etiquetado estará de acuerdo a las Normas Técnicas vigentes” [13].

La máquina peletizadora consta de elementos en acero inoxidable, principalmente en sus mecanismos de compresión debido a que estas partes se encuentran en contacto directo con el alimento, sin embargo el resto de la maquina se elabora en acero al carbono para de esta forma abaratar costos de fabricación.

En la Tabla 2 se muestran la lista de materiales utilizados en la elaboración de la maquina peletizadora.

Tabla 2. Materiales empleados en la fabricación de la maquina

Descripción del Elemento	Material	Acabado
Tolva de Alimentación	Acero galvanizado	Ninguno
Cuerpo de la maquina	Acero al carbono	Pintado al horno
	ASTM A106 Gr. B	
Matriz y rodillos de compresión	Acero inoxidable	Pulido
	AISI 304	
Engranajes	Acero al carbono	Cementado
	AISI 7210	
Ejes de transmisión	Acero al carbono	Ninguno

	AISI 4340	
Poleas de transmisión	Aluminio 6061	Pulido
Estructura	Acero al carbono	Pintado al horno
	AISI 1018	

Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

1.2.5 Selección del motor

Previo a la selección del motor se realizaron los cálculos correspondientes para determinar la potencia requerida. A continuación, se presenta la ficha técnica del motor seleccionado, Tabla 3, el cual tiene una potencia nominal de 16hp con un par motor de 32.1N.m y es de combustión interna impulsado con gasolina como combustible.

Se seleccionó un motor a gasolina en lugar de un motor eléctrico debido a que en la fábrica donde será implementada la máquina peletizadora no cuenta con una red de energía capaz de soportar un motor eléctrico de gran capacidad, sin embargo se diseñó la maquina peletizadora de tal forma que en un futuro se puede intercambiar el tipo de motor con gran facilidad obteniendo de esta forma una maquina versátil y adaptable a las necesidades energéticas de la empresa.



Figura 11. Motor Briggs & Stratton 16hp, modelo: XR1150 Professional [2]

Tabla 3. Especificaciones técnicas del motor [2]

Especificaciones Técnicas	
Marca	Briggs & Stratton
Potencia nominal	16 hp (11,76 kW)
Torque	32.1N.m a 2500rpm
Cilindrada	250 cc
Recorrido de biela	58mm
Capacidad del tanque	0.8 gal
Peso	33 lb
Refrigeración	Por aire

Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

El motor seleccionado posee una curva de potencia muy estable y brinda su máximo rendimiento a 3500rpm, a continuación, se muestra la curva del motor.

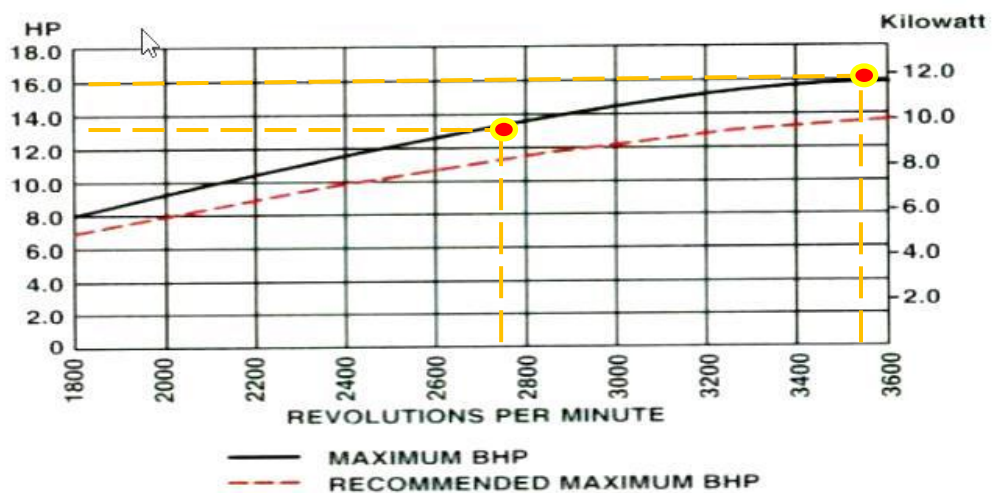


Figura 12. Curva de potencia del motor [3]

El motor trabajara en un rango aproximado de 2500rpm por lo cual su potencia máxima será de 13hp aproximadamente, solo cuando se encuentra sin carga el motor trabajara a 3500rpm en donde nos dará la potencia especificada de 16hp. Sin embargo, estas potencias máximas no son las recomendadas por el fabricante por lo que tendríamos según la curva del motor una potencia real de 10hp aproximadamente.

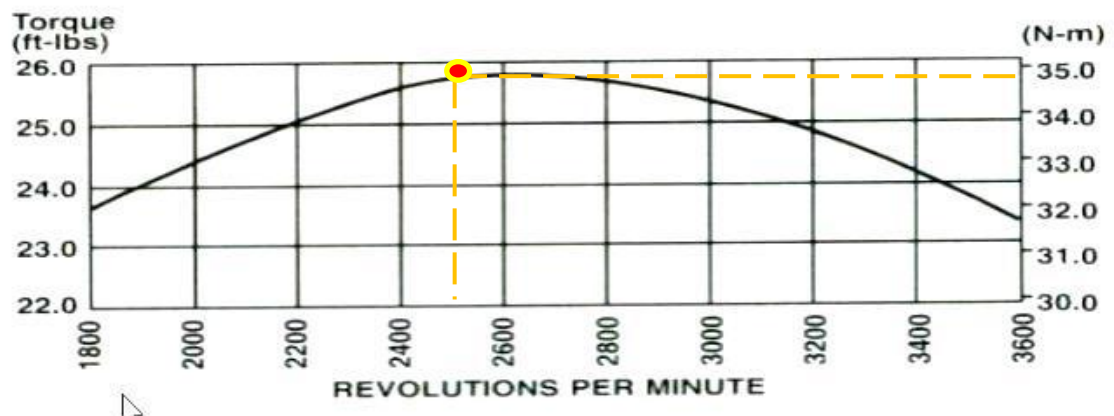


Figura 13. Curva de torque vs número de revoluciones [3]

La curva de torque revela que el motor brinda 35N.m a 2500rpm aproximadamente, sin embargo, se debe tomar en cuenta factores de carga y considerar que la eficiencia del motor decae con el paso del tiempo por lo cual se ha considerado una disminución en el torque del motor de un 8% dándonos como resultado un torque real de 32.1N.m.

1.3 Fases del proceso productivo

El proceso de fabricación de alimentos balanceados en forma de pellets consta de varias etapas, cada una depende en gran medida de la anterior. En el siguiente flujograma se muestra el proceso productivo de los pellets de balanceado, empezando desde la selección de la materia prima hasta llegar al empackado del producto.

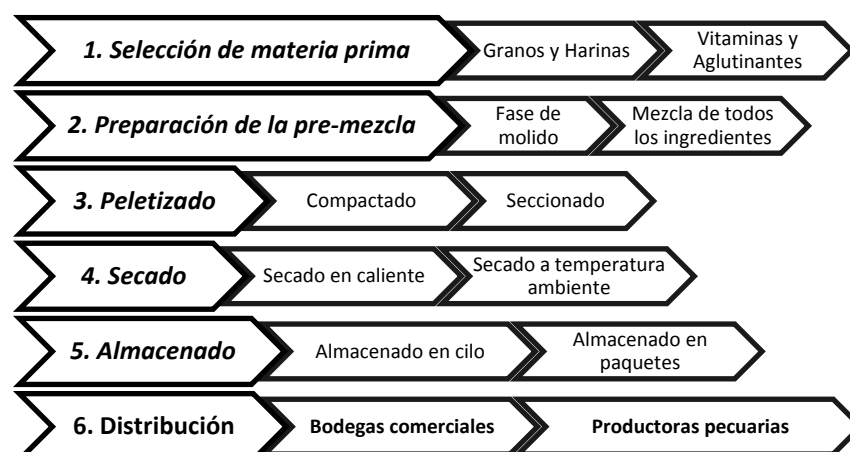


Figura 14. Flujograma de la producción del pellet. Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

1.3.1 Materia Prima

El suministro de la materia prima se realiza a través de la tolva, la cual está encargada que ingresen los ingredientes de una forma correcta y que no se produzcan desperdicios.

1.3.2 Peletizado

El alimento en harinas finalmente molido, se somete a un acondicionador de acción de la temperatura mediante la fricción, lo que provoca la gelificación de los carbohidratos y plastificación de la proteína, haciendo que el alimento sea mejor aprovechado por el animal.

1.3.3 Enfriado

La humedad que se adiciona en el peletizado es más o menos unos 6-7% por encima de la humedad de ingreso de la masa a la unidad la cual debería estar en el orden de 11-12%, en otras palabras, la humedad del producto dentro del proceso de peletizado puede alcanzar los 19% de humedad, lo cual fácilmente puede ser reducido hasta un 12%, permitiendo que todos los ingredientes queden compactados [14].

CAPITULO II

2. DISEÑO

2.1 Método de factores ponderados para seleccionar la peletizadora

Este método que aquí se presenta realiza un análisis cuantitativo en el que se compararán entre sí las diferentes alternativas para conseguir determinar una solución óptima para la fabricación de pellets.

A continuación, en la Tabla 4 se presentan las distintas alternativas empleadas para la elaboración de pellets que existen en el mercado actual.

Tabla 4. Tipos de peletizadoras consideradas para el análisis

Alternativas	
A	Peletizadora de matriz plana estática y rodillo giratorio
B	Peletizadora por extrusión
C	Peletizadora de matriz plana giratoria y rodillo estático

Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

Para la selección de la maquinaria se ha considerado factores económicos, de producción, entre otros, en la Tabla 5 se asigna el peso relativo de cada uno de los factores a ser evaluados.

Tabla 5 Factores considerados para la selección

Factores	Peso Relativo [%]
Capacidad de producción	30
Costo de fabricación	30
Facilidad de mantenimiento	10
Facilidad de operación	10
Facilidad de movilización	10
Consto de instalación bajo	10

Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

Cada factor será evaluado con la siguiente ponderación mostrada en la Tabla 6 en la cual se describe el valor de cada rango de evaluación. En la ponderación se consideró tres factores de evaluación: Malo, Regular y Excelente.

Tabla 6. Índice de evaluación mediante puntos

Ponderación	Concepto
10	Excelente
5	Regular
1	Malo

Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

Finalmente se aplica el método de ponderación para determinar la alternativa más viable a ser construida. Ver Tabla 7.

Tabla 7. Aplicación del método de factores ponderados

Factores	Peso Relativo (%)	Alternativas		
		A	B	C
Capacidad de producción	30	5	1	10
Costo de fabricación	30	5	5	10
Facilidad de mantenimiento	10	5	5	10
Facilidad de operación	10	5	1	10
Facilidad de movilización	10	5	1	5
Consto de instalación bajo	10	10	5	10
Puntación Total		5,6	3,0	9,2

Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

Después de realizar el estudio de ponderaciones se llega a la conclusión de que la alternativa más factible es la Peletizadora de matriz plana giratoria con rodillo estático, debido a que obtuvo la máxima puntuación.

2.2. Cálculo de los elementos de la máquina peletizadora

En el diseño, construcción y funcionamiento de la maquina peletizadora intervienen las siguientes ecuaciones las cuales se han clasificado de la siguiente forma: ecuaciones que intervienen en el sistema de alimentación, ecuaciones que intervienen en el sistema de transmisión de potencia, ecuaciones del sistema de compresión y

extracción del balanceado, ecuaciones del sistema de corte y ecuaciones de la estructura que soporta la maquina peletizadora. A continuación, se presentan los cálculos correspondientes a cada uno de los elementos que conforman la máquina.

2.2.1 Sistema de alimentación de material a ser peletizado

El sistema de alimentación de la maquina peletizadora consta de una tolva, en forma de campana invertida, con una capacidad de 25kg y un sistema de dosificación por gravedad. A continuación, se muestra el esquema de la tolva con las medidas generales.

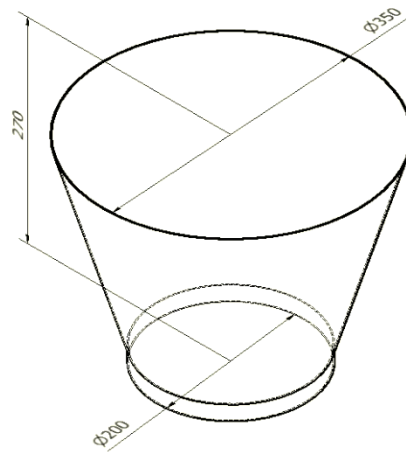


Figura 15. Vista isométrica de la tolva. Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

Para determinar la capacidad del almacenamiento de la tolva y la densidad del producto se emplea las siguientes formulas:

$$V = \frac{1}{3} \pi h (R^2 + r^2 + Rr) \quad (1)$$

Dónde:

V = Volumen de la tolva. [m³]

h = altura de la tolva. [m]

R = Radio superior. [m]

r = Radio inferior. [m]

$$V = \frac{1}{3}\pi 0,27(0,35^2 + 0,2^2 + 0,35 * 0,2)$$

$$V = 0,065m^3$$

La mezcla de harinas se suministra a la cámara de compresión a través de una ranura dosificadora ubicada en la parte inferior de la tolva de alimentación, el caudal volumétrico que fluye por la ranura se determina con la siguiente formula:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (2)$$

Dónde:

Q = Caudal volumétrico. [cm³/s]

V= Volumen de la cámara de compresión. [m³]

t = Tiempo. [s]

$$Q = \frac{0,065}{1} = 0,065 \frac{m^3}{h} \left| \frac{1h}{3600s} \frac{100^3 cm^3}{1m^3} \right|$$

$$\approx Q = 18,05 \text{ cm}^3/s$$

Para la fabricación de la tolva se utilizó plancha de acero negro galvanizada de espesor 1,5mm. El límite de fluencia del acero es de 204MPa. Para determinar la presión que ejerce el balanceado sobre el cuerpo del elemento se tomó los datos de la harina de maíz cuya presión ejercida es de 0,5kg/cm². A continuación se presenta la simulación realizada en el software SOLIDWORKS dando como resultado un esfuerzo máximo ejercido sobre las paredes de 7,7MPa, este valor se encuentra muy por debajo del límite de fluencia del material por lo cual la tolva resistirá los esfuerzos ejercidos por la materia prima [15].

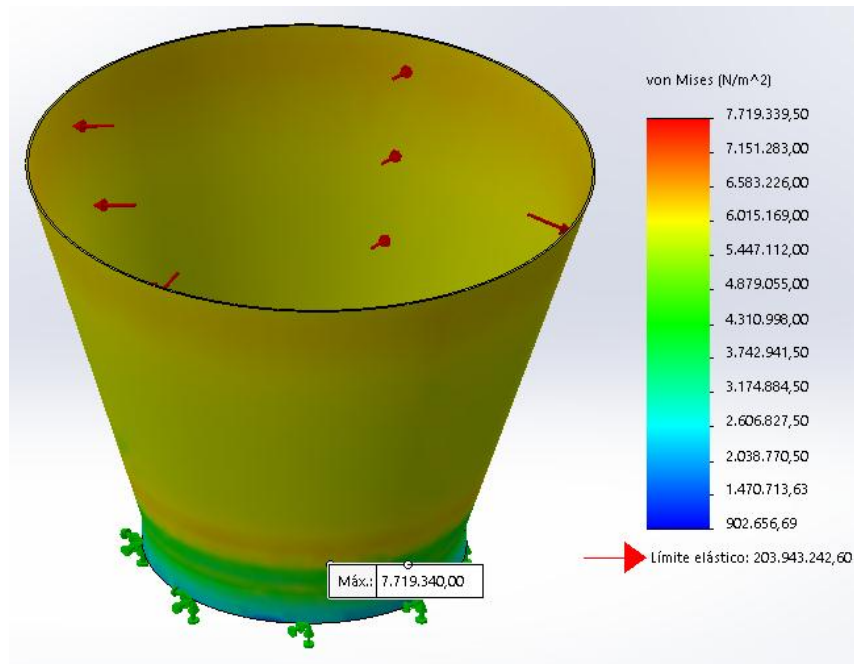


Figura 16. Simulación de la tolva en SOLIDWORKS. Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

2.2.2 Ecuaciones del sistema de transmisión de potencia

El sistema de transmisión de la maquina peletizadora tiene como finalidad trasferir la potencia del motor; por medio de un sistema de poleas, ejes y engranajes, a los elementos de extrusión encargados de conformar el alimento balanceado en pellets.

2.2.2.1 Sistema de poleas

En primera instancia para transmitir el movimiento y torque del motor hacia la caja de engranajes se emplea un sistema de poleas con doble banda, en la siguiente figura se muestra la configuración del sistema de poleas.

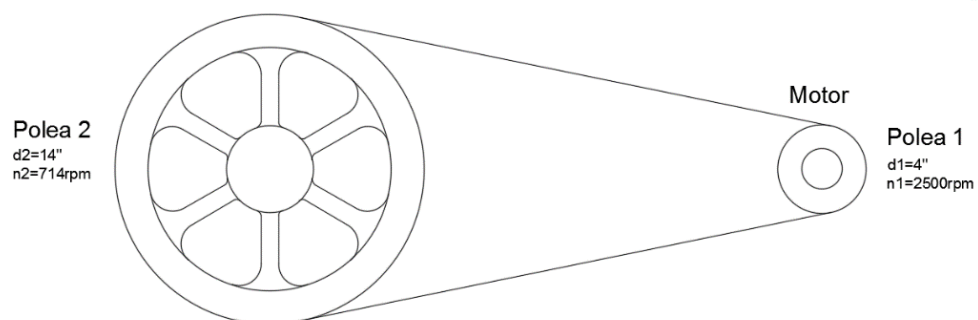


Figura 17. Esquema del sistema de poleas. Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

Para efectos de diseño se plantea utilizar una polea de diámetro 14 pulgadas, por lo cual se emplea la siguiente fórmula para determinar el número de revoluciones de la polea conducida.

$$\phi_1 n_1 = \phi_2 n_2 \quad (3)$$

Dónde:

d_1 = Diámetro de la polea del motor. [mm]

n_1 = Número de revoluciones del motor. [rpm]

d_2 = Diámetro de la polea conducida. [mm]

n_2 = Número de revoluciones de la polea conducida. [rpm]

$$n_2 = \frac{4 * 2500}{14}$$

$$n_2 = 714 \text{ rpm}$$

Para determinar la fuerza que transmite el motor a la polea conducida se emplea la siguiente fórmula, adicionalmente se conoce que el torque del motor es de 31,2N.m a 2500rpm, según el fabricante.

$$T_1 = F \cdot r_1 \quad (4)$$

Dónde:

T_1 = Torque en la polea del motor. [N.m]

F = Fuerza tangencial sobre la polea del motor. [N]

r_1 = Radio de la polea del motor. [m]

$$F = \frac{31,2}{0,058}$$

$$F = 537,9 \text{ N}$$

Para asegurar una eficaz transmisión de potencia entre las poleas es necesario seleccionar el tipo de banda adecuada, la cual se designa con la siguiente tabla, teniendo como datos el régimen de revoluciones máximas del sistema y la potencia a ser transmitida.

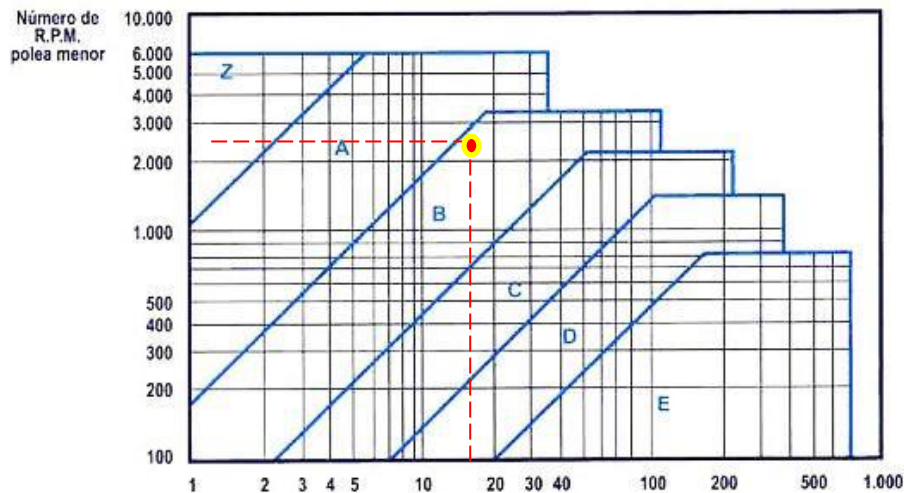


Figura 18. Grafica para la selección de tipo de banda [2]

Como se observa en la figura anterior para una potencia de 16hp a un régimen de 2500rpm se debe emplear una polea y banda de tipo B.

Adicionalmente se calcula la longitud de las bandas que serán empleadas para transmitir el movimiento, con la siguiente formula determinaremos esta longitud.

$$L = \frac{\pi}{2}(D_{max} + D_{min}) + 2I + \frac{(D_{max} - D_{min})^2}{4I} \quad (5)$$

Dónde:

L = Longitud de la banda. [m]

D_{max} = Diámetro máximo de la polea. [m]

D_{min} = Diámetro mínimo de la polea. [m]

I = Distancia entre centros de las poleas. [m]

$$L = \frac{\pi}{2}(0,355 + 0,101) + 2 * 0,508 + \frac{(0,355 - 0,101)^2}{4 * 0,508}$$

$$L = 1,76m$$

2.2.2.2 Ejes de transmisión de movimiento

Eje de trasmisión vertical

El eje de trasmisión vertical es el encargado de transmitir el movimiento de la polea conducida hacia el piñón cónico que se encuentra alojado en la cámara de engranes. Para su construcción se empleó acero AISI 4340 normalizado y para determinar sus

esfuerzos permisibles, diámetro ideal y factores de seguridad se utilizó la teoría de falla por fatiga. A continuación, se presentan las formulas y resultados obtenidos del estudio, además de la corroboración de resultados con la simulación en el software INVENTOR.

El siguiente esquema representa el diagrama de cuerpo libre del elemento en el cual:
 $T_1=95,6 \text{ N.m}$; $F_1=540 \text{ N}$.

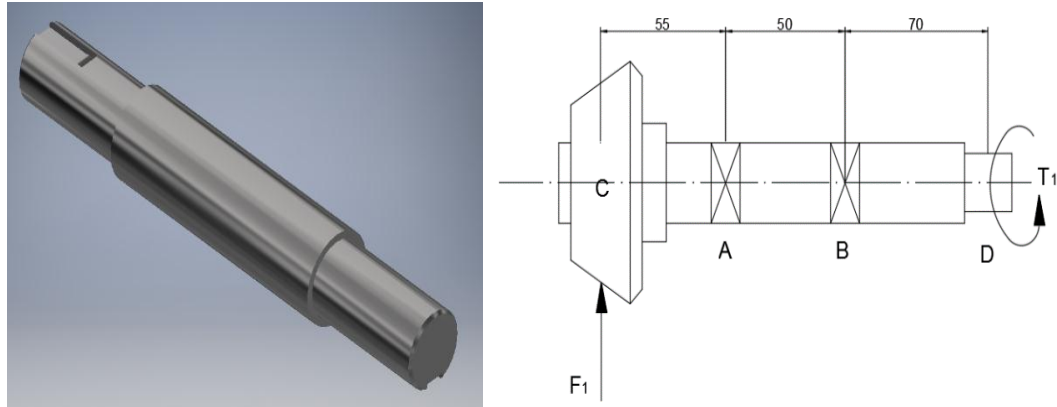


Figura 19. Elemento en 3D y diagrama de cuerpo libre del eje vertical. Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

En primera instancia se determina el esfuerzo admisible del material, conociendo que el límite de fluencia del acero AISI 4340 es $F_y=470\text{MPa}$ y su límite de rotura es de $F_{UT}=745\text{MPa}$, la siguiente formula permite determinar este esfuerzo [16].

$$[\sigma] = 0,5F_y \quad (6)$$

Dónde:

$[\sigma]$ = Esfuerzo admisible. [MPa]

F_y = Limite de fluencia del material. [MPa]

$$[\sigma] = 0,5(470)$$

$$[\sigma] = 235 \text{ MPa}$$

Posteriormente se determina el esfuerzo cortante aplicando la siguiente formula.

$$\tau = \frac{T \cdot r}{J} \quad (7)$$

Dónde:

τ = Esfuerzo cortante. [MPa]

T = Torque máximo. [Nm]

r = Radio mínimo del eje. [m]

I = Inercia del elemento. [m⁴]

$$\tau = \frac{95.64 * 0.025}{61.35 \times 10^{-8}}$$

$$\tau = 3,9MPa$$

El esfuerzo de flexión se determina con la siguiente formula y se toma en cuenta para su cálculo el máximo momento que se ejerce en el elemento.

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad (8)$$

Dónde:

σ = Esfuerzo Flector. [MPa]

c = Radio del eje. [m]

I = Inercia del elemento. [m⁴]

$$\sigma = \frac{26.89 * 0.025}{61.35 \times 10^{-8}}$$

$$\sigma = 1.1MPa$$

Aplicando la fórmula de teoría de falla para ejes se obtiene el esfuerzo equivalente.

$$\sigma_{EQ} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \quad (9)$$

Dónde:

σ_{EQ} = Esfuerzo Equivalente. [MPa]

$$\sigma_{EQ} = \sqrt{1.1^2 + 3 * 3.9^2}$$

$$\sigma_{EQ} = 6.84MPa$$

Finalmente se realiza la comparación entre el esfuerzo equivalente y el esfuerzo admisible con la siguiente desigualdad.

$$\sigma_{EQ} \leq [\sigma] \quad (10)$$

$$6.84MPa \leq 235MPa$$

El diseño dinámico del eje pretende analizar los parámetros de forma y acabado superficial propias del elemento y determinar la resistencia a la fatiga del eje. En primer lugar, se debe determinar la resistencia a la fatiga aparente tomando en cuenta el límite de la rotura del acero con la siguiente formula.

$$Se' = \frac{S_{UT}}{2} \quad (11)$$

Dónde:

Se' = Resistencia a la fatiga aparente. [MPa]

S_{UT} = límite de rotura del material. [MPa]

$$Se' = \frac{745}{2}$$

$$Se' = 372.5MPa$$

Aplicando la fórmula de resistencia a la fatiga en un elemento la cual considera distintos factores se obtiene el siguiente resultado.

$$Se = Se' . ka . kb . kc . kd . ke \quad (12)$$

Dónde:

Se = Resistencia a la fatiga. [MPa]

ka = Factor superficial.

kb = Factor de tamaño.

kc = Factor de carga.

ke = Factor de confiabilidad.

kd = Factor de temperatura.

El factor k_a corresponde al acabado superficial del elemento y se determina con el límite de tracción del material. A continuación, se muestra la formula y tabla de donde se obtuvo el factor.

$$k_a = a S_{UT}^b \quad (13)$$

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{UT} kpsi	S_{UT} MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

De C. J. Noll y C. Lipson, "Allowable Working Stresses", en *Society for Experimental Stress Analysis*, vol. 3, núm. 2, 1946, p. 29. Reproducida por O. J. Horgner (ed.), *Metals Engineering Design ASME Handbook*, McGraw-Hill, Nueva York. Copyright © 1953 por The McGraw-Hill Companies, Inc. Reproducido con autorización.

Figura 20. Factores de acabado superficial por NOLL para aceros [15]

$$k_a = 1.58 * 745^{-0.085}$$

$$k_a = 0.9$$

El factor de tamaño se determina con la formula a continuación planteada.

$$k_b = 1.24 d^{-0.107} \quad \text{si: } (2.79 \leq d \leq 51) \text{ mm} \quad (14)$$

$$k_b = 1.24 * 25^{-0.107}$$

$$k_b = 0.88$$

El factor k_c depende del tipo de carga predominante al cual está sometido el elemento, en el caso del eje de transmisión vertical la carga predominante es de esfuerzo a la torsión por lo cual se consideró el siguiente factor.

$$k_c = 0.59$$

El factor k_d corresponde a la condición de temperatura a la cual va a trabajar el elemento, para nuestro caso se considera que la temperatura no sobrepasara los 450°C por lo cual nuestro factor sería el siguiente.

$$k_d = 1 \quad \text{si: } T^\circ \leq 450^\circ \text{C}$$

Finalmente, el factor de confiabilidad se determina con la siguiente tabla. Para nuestro caso se plantea una confiabilidad del 99.9%. $k_e = 0.753$

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_σ	Factor de confiabilidad k_σ
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Figura 21. Factor de confiabilidad por NOLL para ejes [15]

Aplicando todos los factores en la (12 se tiene el siguiente resultado.

$$S_e = 372.5 * 0.9 * 0.88 * 0.59 * 1 * 0.753$$

$$S_e = 131 MPa$$

Aplicando la teoría de falla, en un análisis dinámico, el elemento debe cumplir la siguiente condición. Al ser el esfuerzo equivalente menor a la resistencia a la fatiga el resultado obtenido es favorable.

$$\sigma_{EQ} \leq S_e \quad (15)$$

$$6.84 MPa \leq 131 MPa$$

Adicionalmente se determina el factor de seguridad con el que trabaja el elemento con la siguiente ecuación.

$$\eta = \frac{S_y}{S_e} \quad (16)$$

$$\eta = \frac{470}{131} = 3.6$$

A continuación, se presenta los diagramas de fuerzas y momentos obtenidos mediante la simulación en el software INVENTOR.

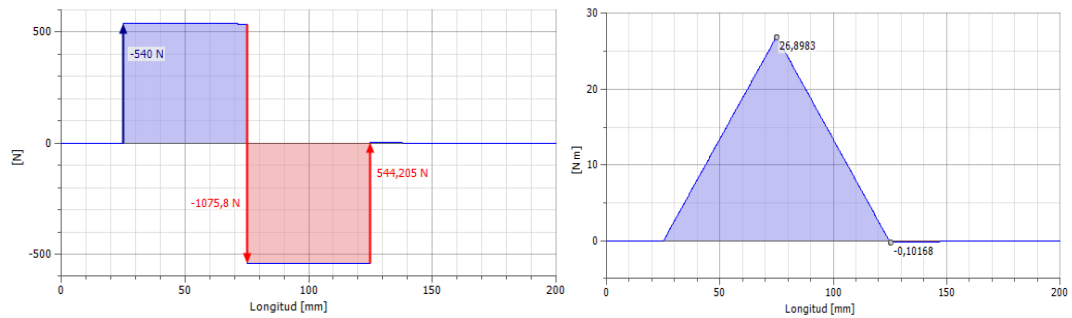


Figura 22. Diagrama de fuerzas y momentos del eje vertical. Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

2.2.2.2 Eje de transmisión horizontal

El eje de transmisión horizontal es el encargado de transmitir la fuerza y el movimiento de la rueda cónica dentada hacia la matriz plana ubicada en la cámara de compresión, en los extremos del eje van ensamblados por un lado la rueda dentada cónica y por el otro la matriz plana encargada de la formación de los pellets. Por su disposición el eje horizontal va a soportar grandes cargas axiales además de las cargas de torsión propias de la transmisión de movimiento. A continuación, se presenta el estudio del eje mediante la teoría de fatiga [16].

Para la fabricación de la flecha se empleó acero AISI 4340 normalizado y la disposición de las fuerzas se encuentra dada como se muestra en la siguiente gráfica.

Dónde:

$$F_2 = 2500 \text{ N}$$

$$T_c = 117 \text{ Nm}$$

$$T_D = 117 \text{ Nm.}$$

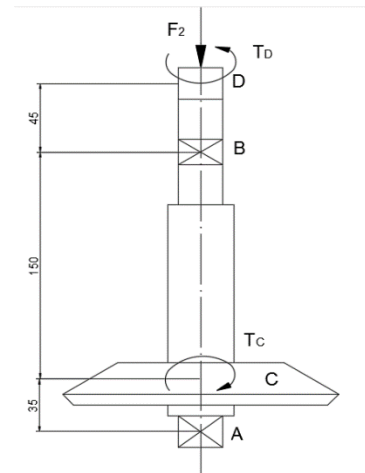
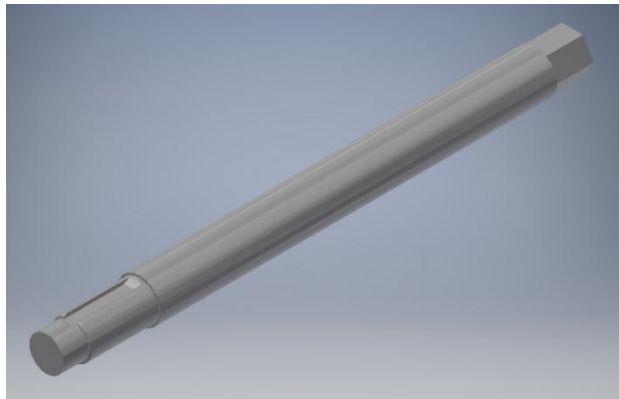


Figura 23. Diagrama de esfuerzos del eje vertical. Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

En primera instancia se determina el esfuerzo admisible del material, conociendo que el límite de fluencia del acero AISI 4340 es $F_y=470\text{MPa}$ y su límite de rotura es de $F_{UT}=745\text{MPa}$, la siguiente formula permite determinar este esfuerzo.

$$[\sigma] = 0,5F_y$$

$$[\sigma] = 0,5(470)$$

$$[\sigma] = 235 \text{ MPa}$$

Posteriormente se determinar el esfuerzo cortante aplicando la siguiente formula.

$$\tau = \frac{T \cdot r}{J}$$

$$\tau = \frac{117 * 0.035}{14.73 \times 10^{-8}}$$

$$\tau = 27,8 \text{ MPa}$$

El esfuerzo de flexión se determina con la siguiente formula y se toma en cuenta para su cálculo el máximo momento que se ejerce en el elemento.

$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

$$\sigma = \frac{45.6 * 0.035}{14.73 \times 10^{-8}}$$

$$\sigma = 10.83 \text{ MPa}$$

Aplicando la fórmula de teoría de falla para ejes se obtiene el esfuerzo equivalente.

$$\sigma_{EQ} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

$$\sigma_{EQ} = \sqrt{10.83^2 + 3 * 27.8^2}$$

$$\sigma_{EQ} = 49.35MPa$$

Finalmente se realiza la comparación entre el esfuerzo equivalente y el esfuerzo admisible con la siguiente desigualdad.

$$\sigma_{EQ} \leq [\sigma]$$

$$49.35MPa \leq 235MPa$$

El diseño dinámico del eje pretende analizar los parámetros de forma y acabado superficial propias del elemento y determinar la resistencia a la fatiga del eje. En primer lugar, se debe determinar la resistencia a la fatiga aparente tomando en cuenta el límite de la rotura del acero con la siguiente formula.

$$Se' = \frac{S_{UT}}{2}$$

$$Se' = \frac{745}{2}$$

$$Se' = 372.5MPa$$

Aplicando la fórmula de resistencia a la fatiga en un elemento la cual considera distintos factores se obtiene el siguiente resultado.

$$Se = Se'.ka.kb.kc.kd.ke$$

El factor ka corresponde al acabado superficial del elemento y se determina con el límite de tracción del material. A continuación, se muestra la ecuación donde se obtuvo el factor!

$$ka = aS_{UT}^b$$

$$ka = 1.58 * 745^{-0.085}$$

$$ka = 0.9$$

El factor de tamaño se determina con la fórmula a continuación planteada.

$$kb = 1.24d^{-0.107} \text{ si: } (2.79 \leq d \leq 51)mm$$

$$kb = 1.24 * 35^{-0.107}$$

$$kb = 0.85$$

El factor k_c depende del tipo de carga predominante al cual está sometido el elemento, en el caso del eje de transmisión vertical la carga predominante es de esfuerzo a la torsión por lo cual se consideró el siguiente factor.

$$kc = 0.59$$

El factor k_d corresponde a la condición de temperatura a la cual va a trabajar el elemento, para nuestro caso se considera que la temperatura no sobrepasara los $450^{\circ}C$ por lo cual nuestro factor sería el siguiente.

$$kd = 1 \text{ si: } T^{\circ} \leq 450^{\circ}C$$

Finalmente, el factor de confiabilidad se determina con la siguiente tabla. Para nuestro caso se plantea una confiabilidad del 99.9%. $ke = 0.753$

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_a	Factor de confiabilidad k_a
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Figura 24. Selección del factor de confiabilidad [4]

Aplicando todos los factores en la ecuación de resistencia a la fatiga se tiene el siguiente resultado.

$$Se = 372.5 * 0.9 * 0.85 * 0.59 * 1 * 0.753$$

$$Se = 126.6MPa$$

Aplicando la teoría de falla, en un análisis dinámico, el elemento debe cumplir la siguiente condición. El resultado obtenido es favorable.

$$\sigma_{EQ} \leq S_e$$

$$49.35 \text{ MPa} \leq 126.6 \text{ MPa}$$

Adicionalmente se determina el factor de seguridad con el que trabaja el elemento con la siguiente ecuación.

$$\eta = \frac{S_y}{S_e}$$

$$\eta = \frac{470}{126.6} = 3.7$$

A continuación se presenta los diagramas de fuerzas y momentos obtenidos mediante la simulación en el software INVENTOR.

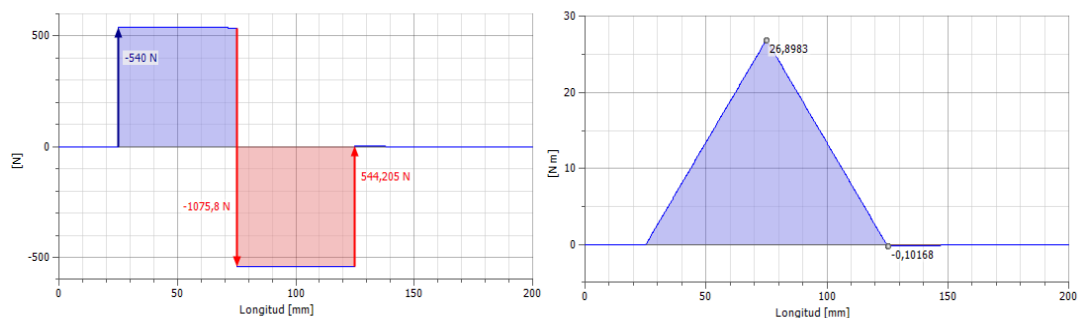


Figura 25. Diagrama de fuerzas y momentos del eje horizontal. Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

Para soportar las cargas axiales y radiales que se ejercen sobre el eje se emplearon rodamientos de bolas y un rodamiento cónico el cual soporta la carga proveniente de la matriz de extrusión. A continuación, se presenta en primer lugar las características del rodamiento cónico que soporta la carga axial y posteriormente el par de rodamientos que soportaran los esfuerzos de flexión [18].



Datos del cálculo

Capacidad de carga dinámica básica	C	55.3	kN
Capacidad de carga estática básica	C ₀	43	kN
Carga límite de fatiga	P _u	4.75	kN
Velocidad de referencia		9500	r/min
Velocidad límite		12000	r/min

Figura 26. Parámetros de carga y geométricos del rodamiento NTN-30305 [5]

El rodamiento cónico para carga axial soporta una carga máxima de 43000N satisfaciendo los 2500N de la fuerza de trabajo y su velocidad límite es de 12000rpm muy por encima de las 750rpm a las que estará sometido.

Para soportar los esfuerzos de flexión del eje y garantizar una correcta alineación durante el funcionamiento del eje vertical se emplearon un par de rodamientos NTN-6306 para esfuerzos radiales, a continuación, se presentan los valores geométricos y de carga de los rodamientos.



Datos del cálculo			
Capacidad de carga dinámica básica	C	29.6	kN
Capacidad de carga estática básica	C_0	16	kN
Carga límite de fatiga	P_u	0.67	kN
Velocidad de referencia		20000	r/min
Velocidad límite		13000	r/min

Figura 27. Datos de carga y geometría del rodamiento NTN-6306 [5]

La carga máxima que puede soportar los rodamientos es de 29600N, a pesar de que el eje no tiene una carga significativa en flexión, los rodamientos se emplean para ayudar a guiar la trayectoria del eje y garantizar su alineación durante el trabajo, el eje gira a 750 rpm y los rodamientos permiten una velocidad límite de 13000 rpm.

2.2.2.3 Sistema de engranajes cónicos

El sistema de engranajes cónicos es el encargado de transmitir la potencia y movimiento del motor hacia la cámara de compresión, está compuesto por un piñón y una rueda ambos de dientes rectos dispuestos a noventa grados con la finalidad de cambiar la dirección del movimiento y disminuir las revoluciones. Para analizar los esfuerzos presentes en el sistema de engranajes se empleó la teoría de AGMA para engranajes. A continuación, se muestra un esquema del sistema [19].

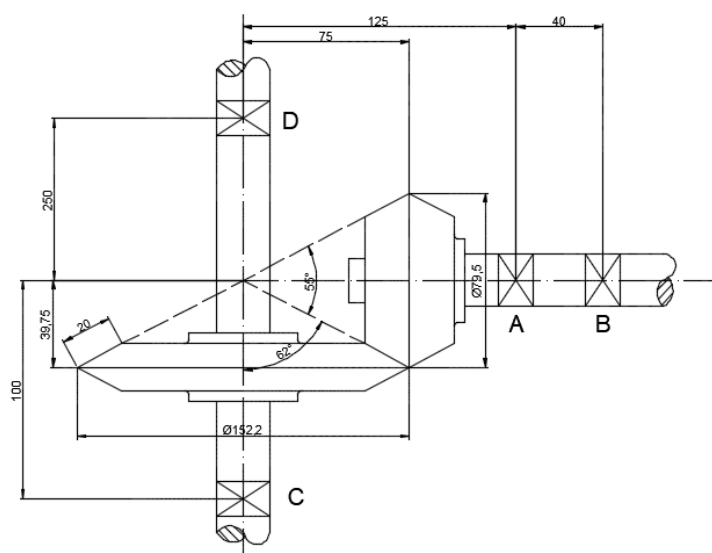
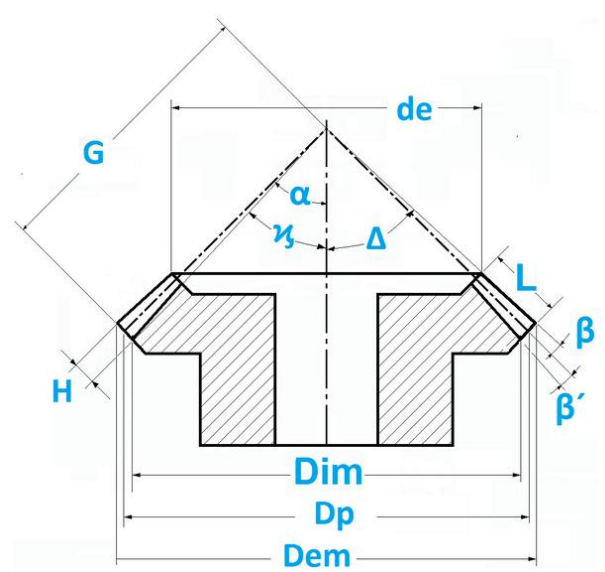


Figura 28. Esquema del sistema de engranajes cónicos. Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

En primer lugar se determina las principales medidas de cada engranaje, su modulo,

Las dimensiones del diseño siguen las recomendaciones para la construcción de engranajes cónicos de dientes rectos establecidos en la normativa AGMA, además posterior al proceso de elaboración del engranaje se realiza un tratamiento térmico de tipo cementado con una profundidad de carburación de 0.8mm para garantizar que exista una correcta formación de martensita revenida sobre la microestructura de la superficie de los piñones [20].



En la siguiente tabla se presentan las principales dimensiones de cada engrane.

Denominación		Engranaje 1	Engranaje 2
Número de dientes	Z	30 su	60 su
Diámetro de separación en el extremo	d _e	75,000 mm	150,000 mm
Diámetro de separación en plano medio	d _m	66,056 mm	132,111 mm
Diámetro exterior en extremo	d _{ae}	79,472 mm	152,236 mm
Diámetro exterior en el extremo pequeño	d _{ai}	60,517 mm	115,926 mm
Diámetro raíz en el extremo	d _{fe}	69,633 mm	147,317 mm
Distancia al vértice	A _e	73,882 mm	35,264 mm

Distancia al vértice en el extremo pequeño	A_i	56,260 mm	26,853 mm
Ángulo de cono de separación	Δ	26,5651 gr	63,4349 gr
Ángulo de cono exterior	δ_a	28,2728 gr	65,1427 gr
Ángulo de cono raíz	δ_f	24,5160 gr	61,3859 gr
Anchura de cara	B	20,000 mm	
Profundidad total de diente	h_e	5,500 mm	5,500 mm
Grosor de diente en el extremo	s_e	3,927 mm	3,927 mm

Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

Para garantizar que el engranaje resistirá las cargas de trabajo se debe determinar la resistencia que, al contacto permisible, esfuerzo permisible y esfuerzo de flexión permisible, en la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos mediante la simulación realizada en el software INVENTOR.

Tabla 9. Fuerzas presentes en el engranaje

Denominación		Engranaje 1	Engranaje 2
Potencia	P	4,470 kW	4,381 kW
Velocidad	N	714,00 rpm	357,00 rpm
Par de torsión	T	59,783 N m	117,175 N m
Eficiencia	H	0,980	
Fuerza tangencial	F_t	1810,090 N	
Fuerza normal	F_n	1926,258 N	
Fuerza radial (dirección 1)	F_{r1}	589,266 N	294,633 N
Fuerza radial (dirección 2)	F_{r2}	589,266 N	294,633 N
Fuerza axial (dirección 1)	F_{a1}	294,633 N	589,266 N
Fuerza axial (dirección 2)	F_{a2}	294,633 N	589,266 N
Velocidad circunferencial	V	2,469 mps	
Velocidad de resonancia	n_{E1}	13565,609 rpm	

Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

Para la construcción de los piñones se empleó acero AISI 4340, posterior al proceso de maquinado se realizó el cementado del elemento para endurecer la superficie de los dientes y de esta forma garantizar que el engranaje resista los esfuerzos. En la siguiente tabla se detalla las propiedades del acero empleado para la fabricación de los piñones.

Tabla 10. Propiedades del material de los engranes

Denominación		Engranaje 1	Engranaje 2
Acero A322-4340			
Resistencia máxima a tracción	S_u	965 MPa	965 MPa
Límite de elasticidad	S_y	750 MPa	750 MPa
Módulo de elasticidad	E	206000 MPa	206000 MPa
Coefficiente de Poisson	M	0,300 su	0,300 su
Límite de fatiga por plegado	σ_{Flim}	705,0 MPa	705,0 MPa
Límite de fatiga por contacto	σ_{Hlim}	1160,0 MPa	1160,0 MPa
Dureza de postizo de diente cementado	H	43 HRC	43 HRC
Número base de ciclos de carga en plegado	N_{Flim}	3×10^6	3×10^6
Número base de ciclos de carga en contacto	N_{Hlim}	100×10^6	100×10^6
Profundidad de tratamiento		80 u	

Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

AGMA ha determinado factores que ayudan al diseño de los engranajes, a continuación, se presenta una tabla con los factores considerados para el análisis.

Tabla 11. Factores dinámicos según AGMA para engranajes

Factor dinámico		Engranaje 1	Engranaje 2
Factor de aplicación	K_A	1,200	
Factor dinámico	K_{Hv}	1,104	1,104
Factor de carga de cara	$K_{H\beta}$	1,415	1,315
Factor de carga transversal	$K_{H\alpha}$	1,190	1,190
Factor de sobrecarga única	K_{As}	1,000	

Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

Tabla 12. Factores de contacto según AGMA para engranajes

Factor de contacto		Engranaje 1	Engranaje 2
Factor de elasticidad	Z_E	189,812	
Factor de zona	Z_H	2,495	
Factor de coeficiente de contacto	Z_e	0,860	
Factor de engranaje biselado	Z_k	0,850	
Factor de contacto de par único de dientes	Z_B	1,034	1,000
Factor de vida útil	Z_N	1,000	1,000
Factor de lubricante	Z_L	0,964	

Factor de rugosidad	Z_R	1,000	
Factor de velocidad	Z_v	0,964	
Factor de ángulo de hélice	Z_β	1,000	
Factor de tamaño	Z_X	1,000	1,000

Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

Tabla 13. Factores de plagado según AGMA para engranajes

Factor de plegado		Engranaje 1	Engranaje 2
Factor de forma	Y_{Fa}	2,485	2,169
Factor de corrección de tensión	Y_{Sa}	1,707	1,935
Factor de dientes con muescas rectificado	Y_{Sag}	1,000	1,000
Factor de ángulo de hélice	Y_β	1,000	
Factor de coeficiente de contacto	Y_e	0,671	
Factor de engranaje biselado	Y_k	1,000	
Factor de carga alterna	Y_A	1,000	1,000
Factor de tecnología de producción	Y_T	1,000	1,000
Factor de vida útil	Y_N	1,000	1,000
Factor de sensibilidad de muesca	Y_δ	1,294	1,335
Factor de tamaño	Y_X	1,000	1,000
Factor de superficie de raíz de diente	Y_R	1,000	

Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

Finalmente se analiza los esfuerzos para determinar los factores de seguridad presentes en el sistema de engranajes, en la siguiente tabla se puede observar que todos los factores son mayores a uno por lo cual el engranaje tiene un grado de confiabilidad alto. El factor más relevante es el coeficiente contra la rotura del diente el cual es de aproximadamente cuatro.

Tabla 14. Factores de seguridad del engranaje

Coeficiente		Engranaje 1	Engranaje 2
Coeficiente de seguridad contra corrosión	S_H	1,540	1,592
Coef. seguridad contra rotura de diente	S_F	3,763	3,923
Seguridad estática en contacto	S_{Hst}	3,432	3,547
Seguridad estática en plegado	S_{Fst}	7,267	7,347

Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

El sistema de engranajes esta soportado por dos ejes, en este caso analizaremos el eje de transmisión horizontal que soporta el piñón y transmite a la ves el movimiento de la polea conducida hacia el engrane, el eje soportara cargas radiales principalmente las cuales fluctúan en un valor de 537,9N, se usa dos rodamientos con designación NTN-6206-2Z.

Datos del cálculo

Capacidad de carga dinámica básica	C	20.3	kN
Capacidad de carga estática básica	C ₀	11.2	kN
Carga límite de fatiga	P _u	0.475	kN
Velocidad de referencia		24000	r/min
Velocidad límite		12000	r/min

d	30	mm
D	62	mm
B	16	mm
d ₁	≈ 40.36	mm
D ₂	≈ 54.06	mm
r _{1,2}	min. 1	mm

Figura 30. Datos de carga y geometría rodamientos NTN-6206-2Z [5]

2.2.3 Ecuaciones del sistema de compresión y extracción

El sistema de compresión es el encargado de conformar el alimento balanceado de harina a pellets, está conformado de una matriz plana con perforaciones y un par de rodillos de compresión. La matriz plana posee una serie de perforaciones sobre su cara lateral por donde se comprime el alimento balanceado, está construido con acero inoxidable AISI 304 al igual que los rodillos de compresión, los rodillos cumplen la función de empujar la harina hacia las perforaciones de la matriz plana girando rotativamente sobre la matriz. Para la determinación de los esfuerzos involucrados en el proceso de conformado del pellet se analizó mediante la teoría de fricción y arrastre entre dos cuerpos. A continuación, se muestra un esquema del proceso de peletizado.

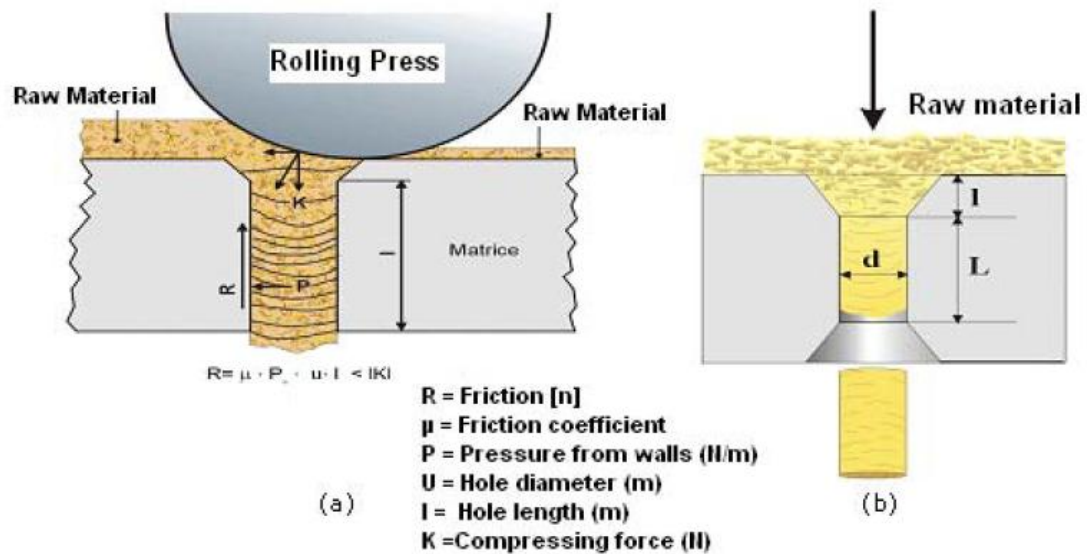


Figura 31. Principio de peletizado mediante matriz plana por Handbook [12]

Para obtener un óptimo proceso de peletizado se deben cumplir las siguientes condiciones:

- La correlación entre las cualidades de la materia prima, la capacidad de compresión de la máquina y el proceso de compresión
- La capacidad de fricción del bloque de matriz.
- La superficie y el material del bloque de troquel y la prensa de laminación.
- La longitud y el diámetro de los orificios en el bloque de troquel.
- El grosor de la capa de materia prima por encima del bloque de matriz y, por lo tanto, el grosor del material que se presiona dentro del bloque.
- La frecuencia de la compresión, es decir, la velocidad de rotación.
- El tipo de aglutinante empleado (melaza, aceite o sintético).
- Angulo de avellanado de las perforaciones de la matriz.
- Temperatura máxima alcanzada durante el proceso de compresión la cual tiene un rango de 60-120 °C.

En el siguiente diagrama se muestra la disposición de los rodillos y la matriz plana sobre la maquina peletizadora, para que la maquina pueda comprimir distintos materiales balanceados la distancia de separación entre la matriz y los rodillos debe ser regulable.

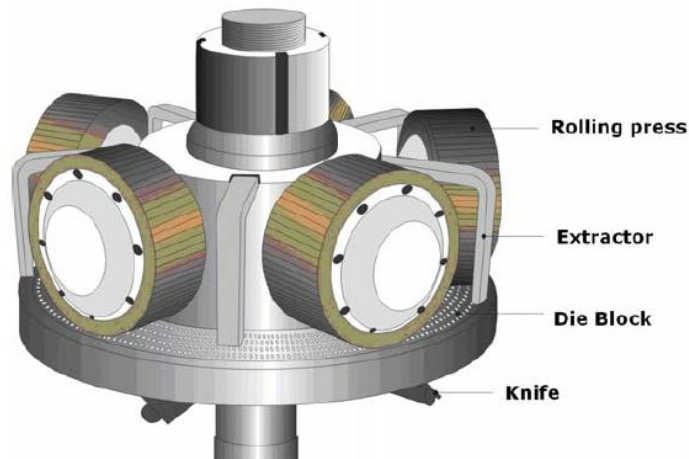


Figura 32. Diagrama de una peletizadora de matriz plana por Handbook [12]

Se analiza la fuerza de rozamiento que existe entre los rodillos y la matriz plana, para lo cual se considera el contacto entre dos metales y la siguiente formula.

$$Fr = f \cdot Fb \quad (17)$$

Dónde:

Fr = Fuerza de rozamiento. [N]

f = Coeficiente de rozamiento.

Fb = Carga por balanceado. [N]

$$Fr = 0,35 \cdot 1960$$

$$Fr = 686N$$

Material de la placa Superior	Material del Carril	Coeficiente de Fricción	
		No lubricado	Lubricado
Acero inoxidable o acero	Acero inoxidable o acero	0,35	0,20
Acero inoxidable o acero	UHMW	0,25	0,15
Plástico Dirigido	Acero inoxidable o acero	0,25	0,15
Plástico Dirigido	UHMW	0,25	0,12
Plástico Dirigido (Baja Fricción)	Acero inoxidable o acero	0,17	0,12
Plástico Dirigido (Baja Fricción)	UHMW	0,18	0,12

Figura 33. Tabla de coeficientes de rozamiento [6]

Cada rodillo tiene dos rodamientos de carga radial los cuales serán los encargados de soportar la carga de trabajo garantizando un adecuado movimiento entre las partes. Si la carga total que ejerce los rodillos sobre la matriz es de 1960N, entonces cada rodillo soportara una carga de 980N y en su defecto cada rodamiento debe tener la capacidad de soportar una carga radial de 490N. Sabiendo que el diámetro del eje que soporta los rodamientos es de 25mm se ha seleccionado un rodamiento con designación NTN-6305, a continuación, se presenta los parámetros geométricos y de trabajo del rodamiento.

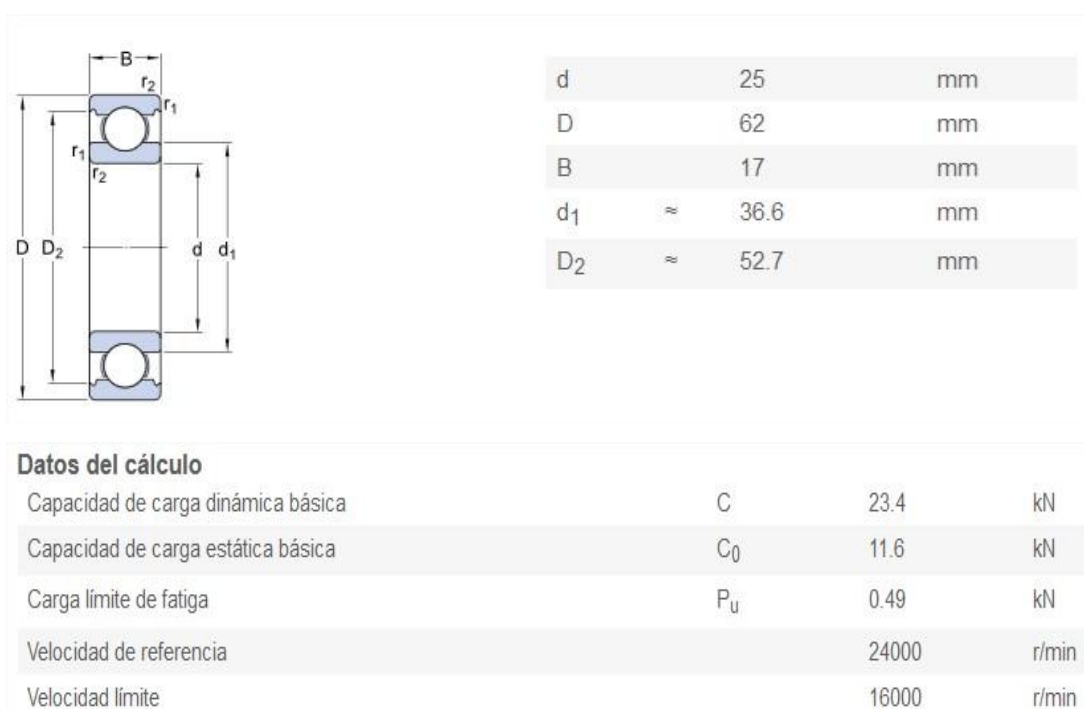


Figura 34. Datos geométricos y de carga del rodamiento NTN-6305 [5]

En la figura se puede apreciar que el rodamiento es capaz de soportar una carga dinámica de 23400N y una carga estática de 11600N por lo cual el rodamiento cumple con las exigencias de la carga de diseño que son de 490N.

En cuanto a la velocidad límite que es capaz de soportar el rodamiento esta bordea las 16000rpm, estando muy por debajo de la velocidad con la que trabajan los rodillos que es de 350rpm.

Adicionalmente se realizó la simulación de las cargas que actúan sobre la cámara de engranajes debido a que este elemento debe soportar los esfuerzos generados en la cámara de compresión, el material con el cual fue construida la cámara es de acero

A36 y los pernos que sujetan la cámara de compresión y la cámara de engranajes son de grado 8. A continuación se presenta un esquema en 3D del elemento analizado.

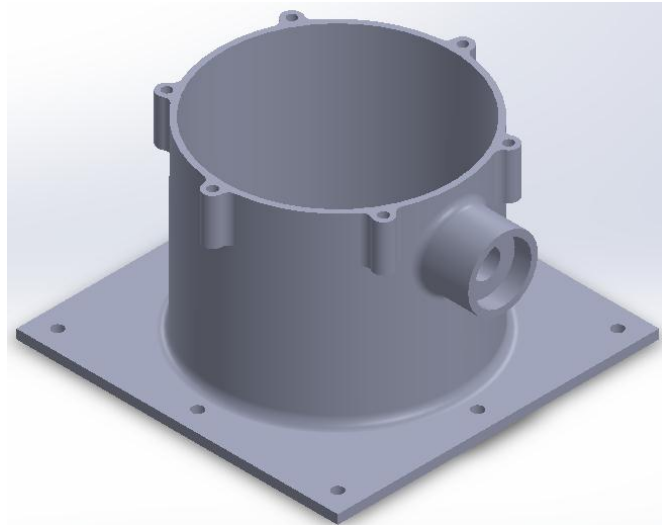


Figura 35. Modelo en 3D de la cámara de engranajes. Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

Para el análisis matemático el software utiliza la teoría de Von Mises y genera una malla con una serie de nodos sobre toda la pieza, este método también es conocido como análisis por elementos finitos, en el siguiente esquema se muestra la malla generada sobre el elemento la cual consta de 22000 nodos aproximadamente.

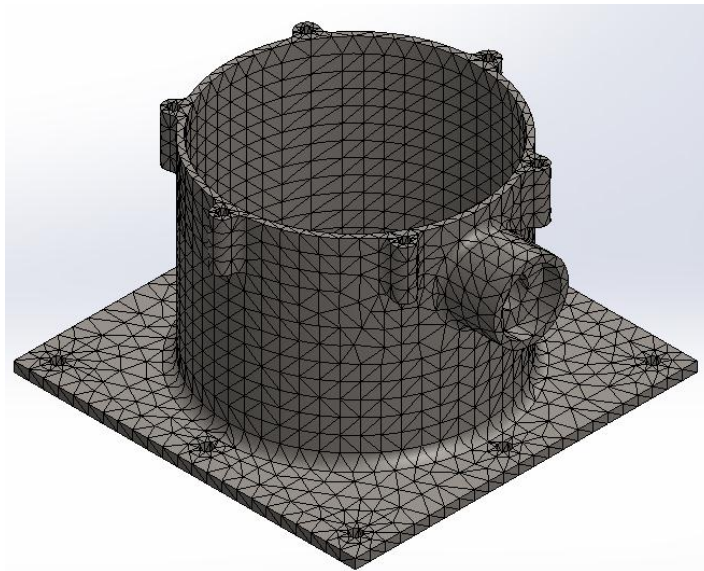


Figura 36. Malla generada sobre la cámara de compresión por el software. Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

Posteriormente se realiza el análisis de tensiones según la teoría de Von Mises dándonos como resultado un esfuerzo máximo de 0,76MPa como se muestra en la

siguiente figura. Sabiendo que el límite de fluencia del acero A36 es de 250MPa se puede apreciar que el elemento no fallara por esfuerzos de tensión.

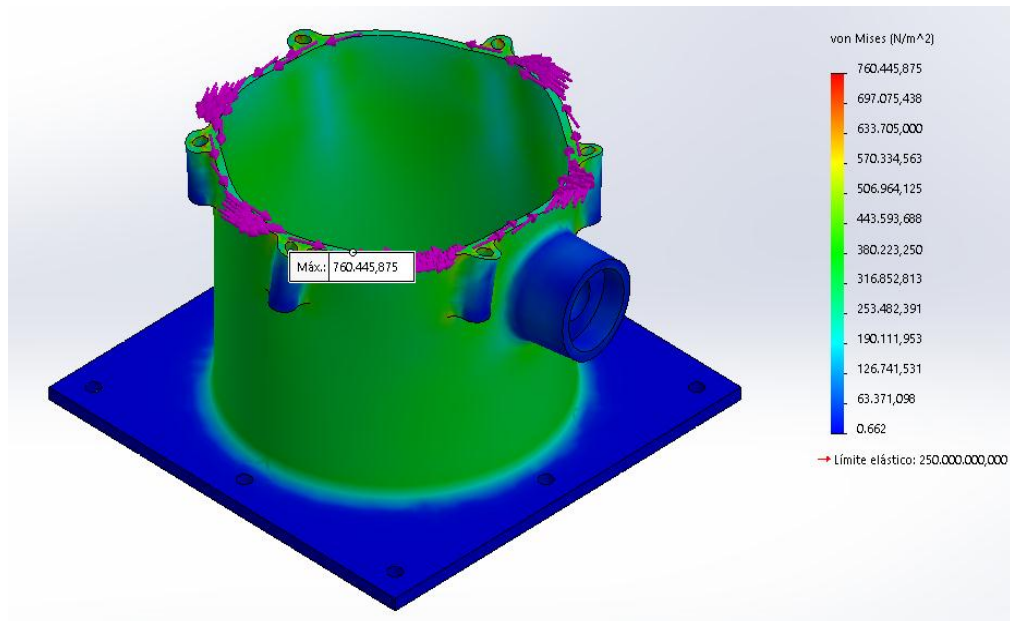


Figura 37. Análisis de tensiones en la cámara de engranajes. Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

Adicionalmente se realiza un análisis del desplazamiento que genera las tensiones sobre el elemento dándonos como resultado un desplazamiento máximo de 0,001mm como se observa en la siguiente figura.

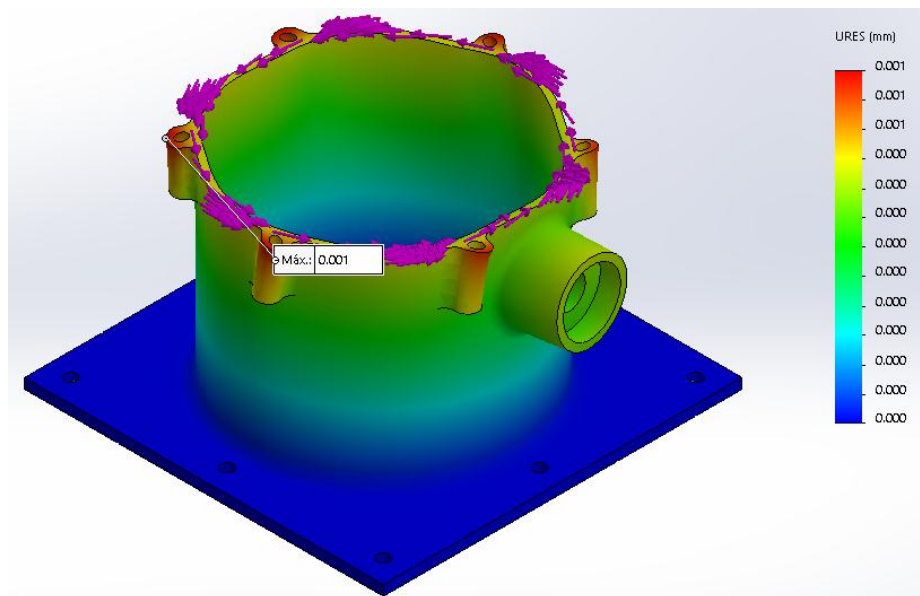


Figura 38. Análisis de desplazamiento de la cámara de engranajes. Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

2.2.4 Sistema de corte del balanceado

El sistema de corte de la máquina peletizadora es el encargado de desprender los pellets de la matriz de corte a una longitud de aproximadamente 10mm, este sistema consta de una placa de acero inoxidable AISI 304 y se encuentra anclada en la base interna de la cámara de compresión. En la siguiente imagen se puede observar la disposición de la placa encargada del corte del pellet, para su construcción se utilizó placa de espesor 5mm con un ancho de 25mm.

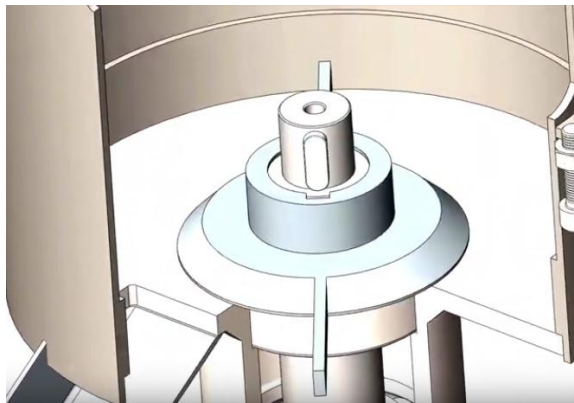


Figura 39. Imagen 3D del sistema de corte. Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

El sistema de corte que consta de una placa de acero inoxidable AISI 304 de aproximadamente 5mm de espesor debe soportar las fuerzas que se ejercen el balanceado sobre una de su cara lateral, a continuación, se presenta un esquema de la placa de corte y la fórmula empleada para analizar su resistencia.

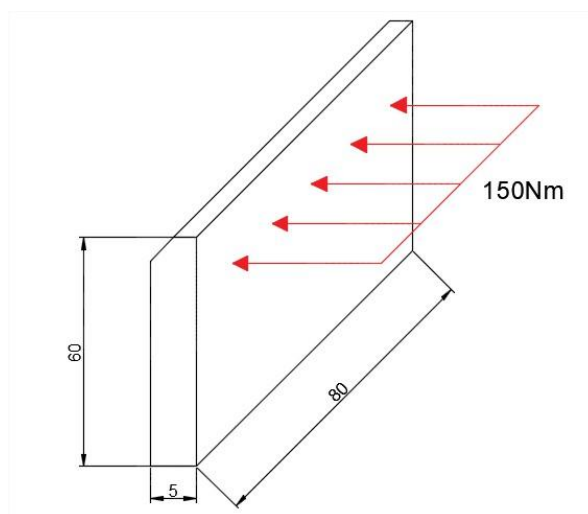


Figura 40. Diagrama de la placa para corte. Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

$$\sigma_{pl} = \frac{F_c}{A_{pl}} \quad (18)$$

Dónde:

σ_{pl} = Esfuerzo sobre la placa. [MPa]

F_c = Fuerza de corte ejercida sobre la placa. [N]

A_{pl} = Area de la superficie de la placa. [mm²]

$$\sigma_{pl} = \frac{150/0.08}{0.08 * 0.06}$$

$$\sigma_{pl} = 0.39Pa$$

2.2.5 Ecuaciones de la estructura

La estructura que soporta la máquina y el motor está construida para garantizar que todos los elementos se encuentren fijos durante la operación de la peletizadora, además soportar las vibraciones propias que genera el motor. Para el análisis de la estructura se empleó ángulo de acero ASTM A36. Las principales cargas que debe soportar la estructura son el peso del motor y el peso de la peletizadora. A continuación, se muestra el análisis realizado en el software SOLIDWORKS para determinar los esfuerzos.

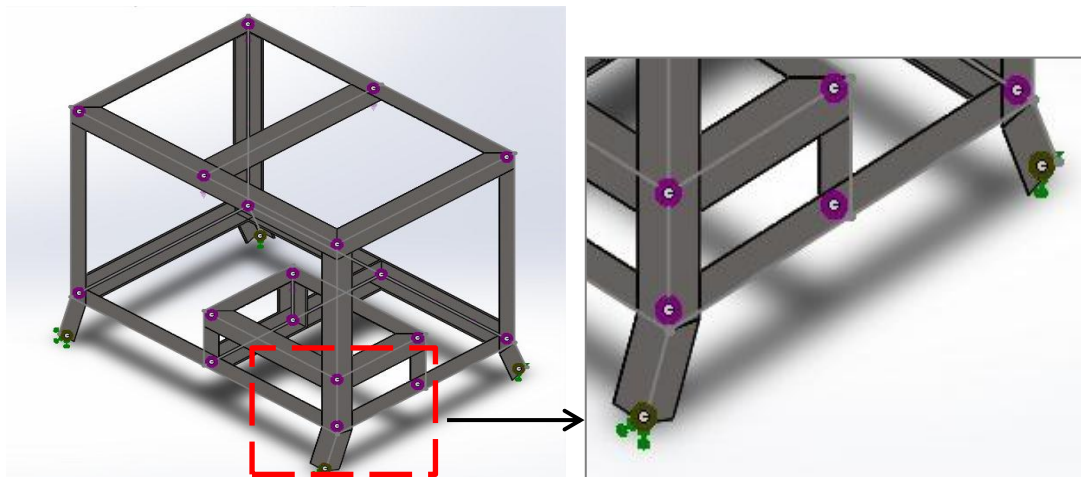


Figura 41. Diagrama 3D y Diagrama de fuerzas aplicadas sobre la estructura. Elaborado por.:
Fernando Albán & Ángel Arias

Las principales cargas corresponde a 50kg y el peso del motor que corresponde a 20kg, en la siguiente figura se presenta el resultado de la simulación y los esfuerzos máximos generados sobre la estructura.

A continuación, se presentan las restricciones asignadas sobre la estructura, se asume que la estructura operara empotrada al suelo por lo cual las restricciones son fijas, en la siguiente tabla se presentan las coordenadas de las restricciones, magnitudes de esfuerzos y componentes de momentos.

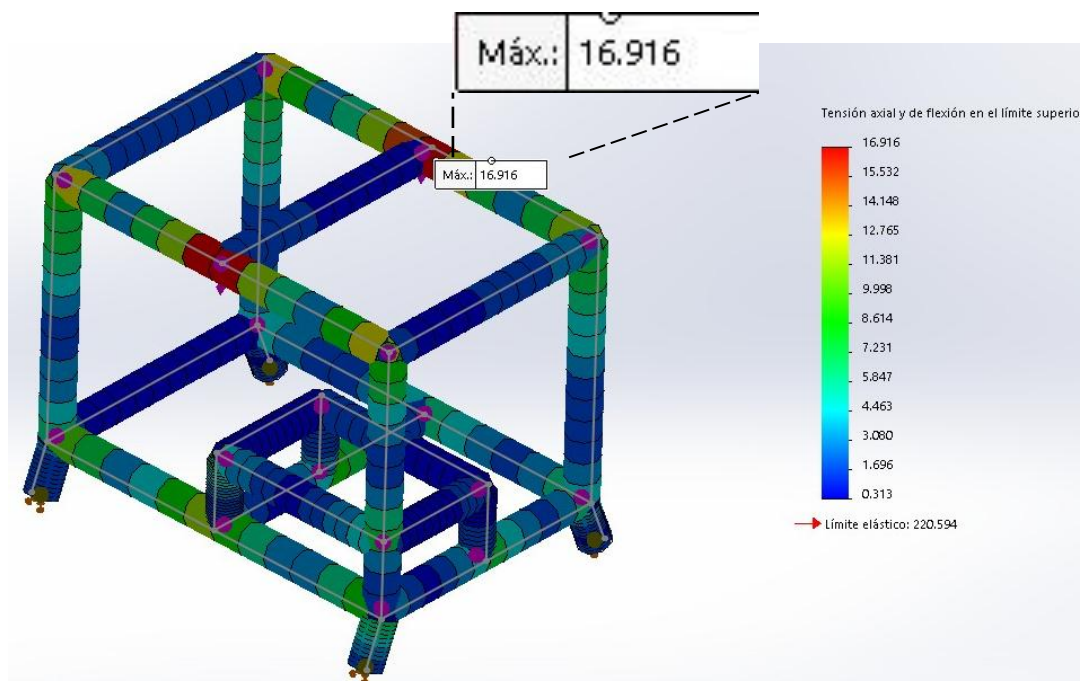


Figura 42. Simulación de cargas sobre la estructura. Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

Mediante un análisis de nodos el software realiza el estudio de los esfuerzos y se determina los esfuerzos máximos y mínimos que actúan sobre la estructura, el esfuerzo máximo obtenido fue de 16.9MPa correspondiente a una tensión de flexión sobre la viga más crítica.

Se determinó que el máximo desplazamiento en la estructura es de 0,07mm como se observa en la siguiente figura.

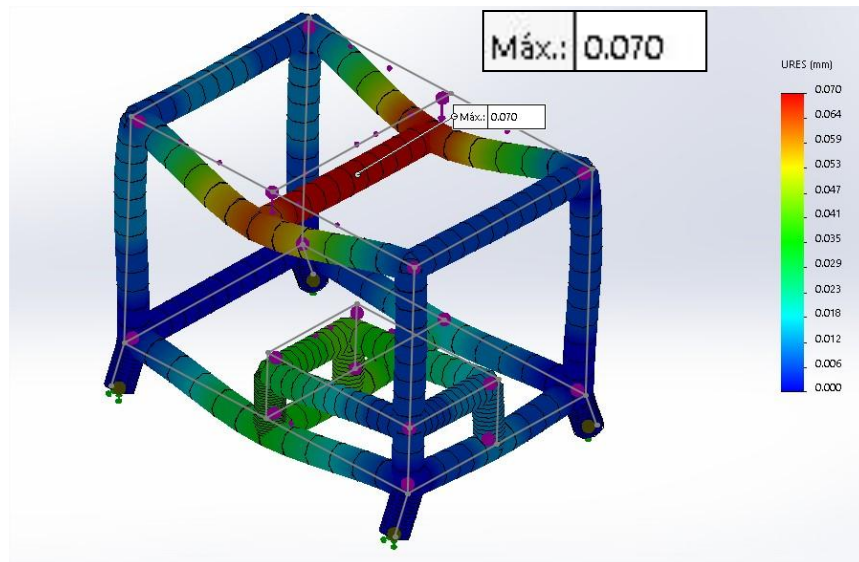


Figura 43. Análisis de desplazamiento máximo. Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

Finalmente se determinó que el factor de seguridad más crítico el cual es de 13.

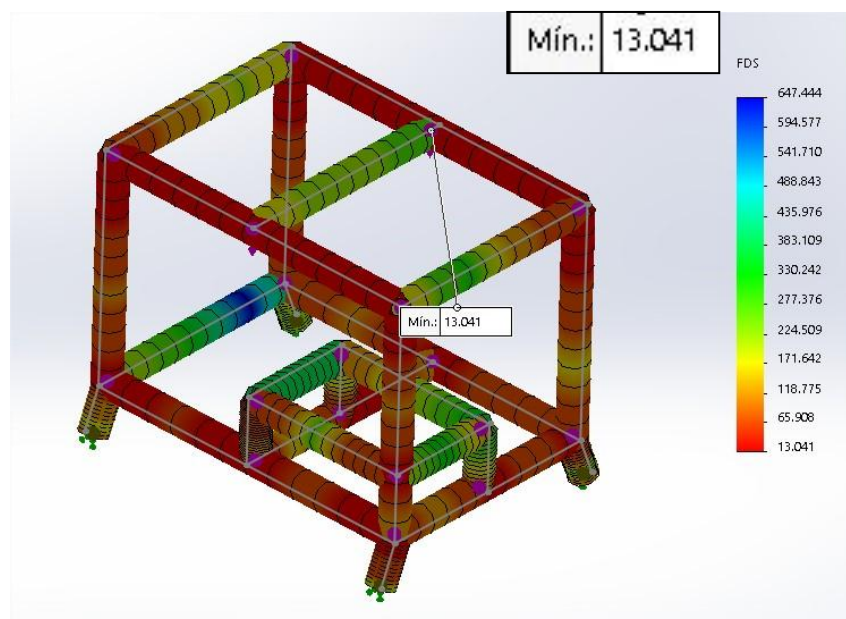


Figura 44. Análisis de factor de seguridad. Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

2.2.6 Cálculo de soldadura

La máquina peletizadora posee varias juntas soldadas en su estructura, unión de partes en la cámara de engranajes, unión de partes en la cámara de compresión y en el porta rodamientos. A continuación, se presenta los cálculos y procedimientos de soldadura empleados.

2.2.6.1 Soldadura en la estructura

Para la estructura se empleó ángulo de 2plg y espesor 1/8plg, se analizó la soldadura bajo criterio de esfuerzos cortantes. La soldadura fue realizada mediante arco eléctrico por un procedimiento SMAW [21].

En el siguiente cuadro se presenta la resistencia mecánica del electro utilizado.

Tabla 9-3		Número de electrodo AWS*	Resistencia a la tensión, kpsi (MPa)	Resistencia a la fluencia, kpsi (MPa)	Elongación porcentual
Propiedades mínimas del metal de aporte		E60xx	62 (427)	50 (345)	17-25
		E70xx	70 (482)	57 (393)	22
		E80xx	80 (551)	67 (462)	19
		E90xx	90 (620)	77 (531)	14-17
		E100xx	100 (689)	87 (600)	13-16
		E120xx	120 (827)	107 (737)	14
	*Sistema de numeración del código de especificaciones de la American Welding Society (AWS) para electrodos. En este sistema se usa como prefijo la letra E, en un sistema de numeración de cuatro o cinco dígitos en el cual los primeros dos o tres números designan la resistencia aproximada a la tensión. El último dígito incluye variables en la técnica de soldadura, como la fuente de corriente. El penúltimo dígito indica la posición de la soldadura, por ejemplo, plana, vertical o sobre la cabeza. El conjunto completo de especificaciones se puede obtener solicitándolo a la AWS.				

Figura 45. Propiedades mínimas del material de aporte [4]

Adicionalmente se presentan los esfuerzos permisibles según el código AISC para metales de aporte, para nuestro caso plantearémos un análisis con un tipo de carga cortante y nuestro tipo de junta es a tope.

Tabla 9-4		Tipo de carga	Tipo de soldadura	Esfuerzo permisible	n*
Esfuerzos permisibles del Código AISC para metal de aporte		Tensión	A tope	$0.60S_y$	1.67
		Aplastamiento	A tope	$0.90S_y$	1.11
		Flexión	A tope	$0.60-0.66S_y$	1.52-1.67
		Compresión simple	A tope	$0.60S_y$	1.67
		Cortante	A tope o de filete	$0.30S_u$	
	*El factor de seguridad n se ha calculado mediante la teoría de la energía de distorsión. †El esfuerzo cortante en el metal base no debe exceder de $0.40S_y$ del metal base.				

Figura 46. Esfuerzo permisible del código AISC para metal de aporte [4]

A continuación, se presenta el esquema de la junta soldada. Para efectos de análisis se tomó un tramo del elemento de 50mm y se aplicó la siguiente fórmula para cálculo de soldaduras sometidas a compresión o tensión.

Junta soldada a tope

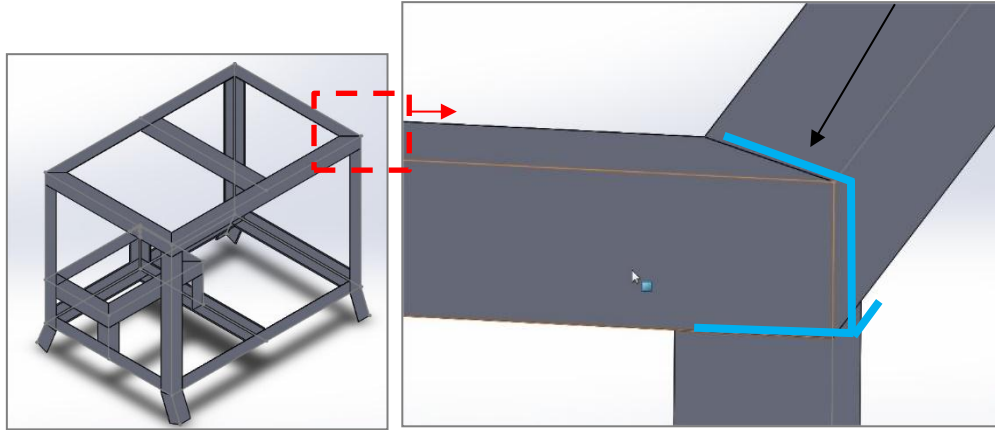


Figura 47. Diseño de la junta soldada para la estructura. Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

$$\sigma_{pE} = 0,30S_{ut} \quad (19)$$

Dónde:

σ_{pE} = Esfuerzo permisible de la soldadura para una carga cortante. [MPa]

S_{ut} = Resistencia a la tensión. [MPa]

$$\sigma_{pE} = 0.3 * 427$$

$$\sigma_{pE} = 128.1 MPa$$

Posteriormente se analiza el esfuerzo cortante que actúa sobre la soldadura, se considera un factor de concentración de esfuerzo de tipo a tope reforzada $k_{fs} = 1.2$.

$$\tau = \frac{k_{fs}F}{A} \quad (20)$$

Dónde:

τ = Esfuerzo cortante en el material base. [MPa]

F = Fuerza cortante. [N]

A = Área de la garganta de la soldadura. [mm²]

$$\tau = \frac{1.2 * 1470}{250} = 7,056 MPa$$

Adicionalmente se efectúa el análisis del factor de seguridad de la junta soldada mediante el criterio de falla por fatiga por esfuerzos cortantes de Gerber y se representa en la siguiente formula.

$$n = \frac{1}{2} \left(\frac{0.67 S_{utM}}{\tau} \right)^2 \frac{\tau}{0.4 S_{yM}} \left[-1 + \sqrt{1 + \left(\frac{2\tau 0.4 S_{yM}}{0.67 S_{utM} \tau} \right)^2} \right] \quad (21)$$

Dónde:

n = Factor de seguridad de la junta soldada

S_{utM} = Resistencia a la rotura del acero ASTM A36. [MPa]

τ = Esfuerzo cortante en el material base. [MPa]

S_{yM} = Resistencia a la fluencia del acero ASTM A36. [MPa]

$$n = \frac{1}{2} \left(\frac{0.67 * 400}{7.056} \right)^2 \frac{7.056}{0.4 * 250} \left[-1 + \sqrt{1 + \left(\frac{2 * 7.056 * 100}{0.67 * 400 * 7.056} \right)^2} \right]$$

$$n = 12,6$$

El resultado de este cálculo nos revela que la soldadura en la estructura es altamente confiable, adicionalmente se corrobora el resultado con el obtenido mediante simulación. Para garantizar que la soldadura cumpla con los parámetros de aceptación y rechazo establecidos en la norma AWS D1.3 se presenta el siguiente procedimiento de soldadura.

Tabla 15. Procedimiento de soldadura para la estructura

	<i>Utilizado</i>	<i>Rango Calificado</i>
Material Base	3.17mm	1.5 a 6 mm
Electrodo		E6010
Diámetro del electrodo		1/8"
Limpieza		Grata metálica
Tipo de corriente		CC/+
Talón		1mm a tope
Amperaje		90 a 110 A
Avance		Manual
Posición	2F, 3F y 4F	Todas

Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

2.2.6.2 Soldadura en la cámara de engranes

Para efectos de unir el tubo que conforma la cámara de engranajes con la base se utilizó un proceso de soldadura el cual sigue los parámetros establecidos en la norma AWS D1.3, para el procedimiento se empleó electrodo E6010 para el pase de la raíz y el pase en caliente y electrodo E7018 para las capas de relleno, a continuación, se presenta el respectivo cálculo de la junta soldada y su procedimiento de soldadura.

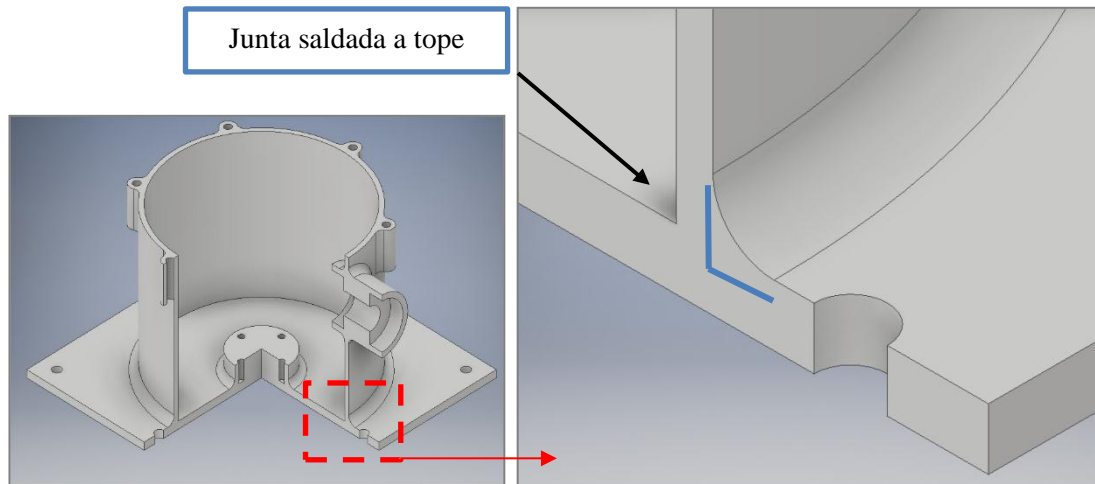


Figura 48. Diseño de la junta soldada para la cámara de engranajes. Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

Para determinar el esfuerzo cortante nominal en la garganta de la junta soldada se emplea la siguiente formula.

$$\tau' = \frac{Mr}{I} \quad (22)$$

Dónde:

τ' = Esfuerzo cortante nominal. [MPa]

M = Momento de esfuerzo cortante en la garganta. [Nm]

r = Radio de la aplicación del momento. [mm]

I = Segundo momento de inercia con base a la garganta de soldadura. [mm⁴]

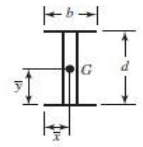

Soldadura	Área de la garganta	Ubicación de G	Segundo momento unitario del área
	$A = 1.414h(b + d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{6}(3b + d)$
	$A = 1.414\pi hr$		$I_u = \pi r^3$

Figura 49. Propiedades flexionantes de la soldadura de filete [4]

$$\tau' = \frac{244.6 * 0,127}{\pi * (0,127)^4}$$

$$\tau' = 37,5MPa$$

Con base en una resistencia mínima y el criterio de energía de distorsión, el factor de seguridad está dado por la siguiente formula.

$$n = \frac{S_{Sy}}{\tau'} \quad (23)$$

Dónde:

n = Factor de seguridad.

S_{Sy} = Limite de fluencia del electrodo E6010. [MPa]

τ' = Esfuerzo cortante nominal. [MPa]

$$n = \frac{0.577 * 345}{37.5}$$

$$n = 5,3$$

El resultado del estudio revela que la junta soldada presente en la cámara de engranajes tiene un alto grado de confiabilidad debido a su factor de seguridad.

Para garantizar una adecuada fabricación de la junta soldada se debe seguir los parámetros establecidos en el siguiente procedimiento de soldadura.

Tabla 16. Procedimiento de soldadura para la cámara de engranajes

	Utilizado	Rango Calificado
Material Base	3.17mm	1.5 a 6 mm
Electrodos	E6010 y E7018	
Diámetro del electrodo	1/8"	

Limpieza	Grata metálica en cada pase	
Tipo de corriente	CC/+	
Talón	1mm a tope	
Amperaje	[90 a 110 A] y [120 a 140 A]	
Voltaje	[18 a 22 V] y [20 a 25 V]	
Avance	Manual	
Posición	2F, 3F y 4F	Todas

Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

2.2.7 Calculo de pernos

En la maquina peletizadora podemos encontrar un sin número de pernos, unos tienen la finalidad de simplemente sujetar piezas en un lugar específico sin que sea de gran importancia el esfuerzo, mientras que otros están destinados a trabajar bajo estrictas condiciones de esfuerzos, principalmente a tensión, y dependerá en gran medida su adecuado dimensionamiento para garantizar que la maquina logre funcionar adecuadamente. Los pernos con mayor importancia en la maquina son los que unen la cámara de engranajes con la parte superior de la cámara de compresión debido a que estos pernos deben soportar los esfuerzos que se generan en el proceso de conformación del pellet.

Se emplearon perno de grado SAE 8 y $\varnothing 3/8$ plg x 2,5plg a continuación se muestra la tabla correspondiente que indica el límite de la resistencia a la rotura y el límite de fluencia.











Grado SAE núm.	Intervalo de tamaños, inclusive, pulg	Resistencia de prueba mínima,* kpsi	Resistencia mínima a la tensión,* kpsi	Resistencia mínima a la fluencia,* kpsi	Material	Marca en la cabeza
1	$\frac{1}{2}$ - $1\frac{1}{2}$	33	60	36	Acero de bajo o medio carbono	
2	$\frac{1}{4}$ - $\frac{3}{8}$	55	74	57	Acero de bajo o medio carbono	
	$\frac{7}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	33	60	36		
4	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	65	115	100	Acero de medio carbono, estirado en frío	
5	$\frac{1}{4}$ - 1	85	120	92	Acero de medio carbono, T y R	
	$1\frac{1}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	74	105	81		
5.2	$\frac{1}{4}$ - 1	85	120	92	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	
7	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	105	133	115	Acero de aleación de medio carbono, T y R	
8	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	120	150	130	Acero de aleación de medio carbono T y R	
8.2	$\frac{1}{4}$ - 1	120	150	130	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	

Figura 50. Límite de fluencia para pernos [4]

Para determinar el área de esfuerzo a la tensión del perno se empleó la siguiente tabla.

Designación de tamaño	Diámetro mayor nominal pulg	Serie gruesa-UNC			Serie fina-UNF		
		Roscas por pulgada, N	Área de esfuerzo de tensión A_s , pulg ²	Área del diámetro menor A_r , pulg ²	Roscas por pulgada, N	Área de esfuerzo de tensión A_s , pulg ²	Área del diámetro menor A_r , pulg ²
0	0.0600				80	0.001 80	0.001 51
1	0.0730	64	0.002 63	0.002 18	72	0.002 78	0.002 37
2	0.0860	56	0.003 70	0.003 10	64	0.003 94	0.003 39
3	0.0990	48	0.004 87	0.004 06	56	0.005 23	0.004 51
4	0.1120	40	0.006 04	0.004 96	48	0.006 61	0.005 66
5	0.1250	40	0.007 96	0.006 72	44	0.008 80	0.007 16
6	0.1380	32	0.009 09	0.007 45	40	0.010 15	0.008 74
8	0.1640	32	0.014 0	0.011 96	36	0.014 74	0.012 85
10	0.1900	24	0.017 5	0.014 50	32	0.020 0	0.017 5
12	0.2160	24	0.024 2	0.020 6	28	0.025 8	0.022 6
$\frac{1}{4}$	0.2500	20	0.031 8	0.026 9	28	0.036 4	0.032 6
$\frac{5}{16}$	0.3125	18	0.052 4	0.045 4	24	0.058 0	0.052 4
$\frac{3}{8}$	0.3750	16	0.077 5	0.067 8	24	0.087 8	0.080 9

Figura 51. Área de resistencia a la tracción perno [4]

A continuación, se presenta los datos técnicos de los 6 pernos empleados para sujetar la tapa del ala caja de engranes.

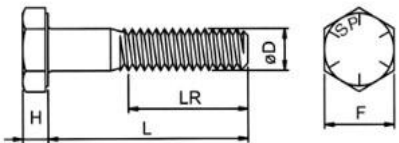
PERNO HEXAGONAL GRADO 8 UNC TN													
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS													
													
ϕD	1/4	5/16	3/8	7/16	1/2	9/16	5/8	3/4	7/8	1	1.1/8	1.1/4	1.1/2
H Min	3,81	4,95	5,74	6,91	7,67	8,84	9,60	11,56	13,49	15,01	16,71	19,02	22,91
F Máx	11,13	12,70	14,27	15,88	19,05	20,62	23,83	28,58	33,32	38,10	42,88	47,63	57,15
LR Min <small>Cuando L, menor de 6"</small>	3/4"	7/8"	1"	1.1/8"	1.1/4"	1.3/8"	1.1/2"	1.3/4"	2"	2.1/4"	2.1/2"	2.3/4"	3.1/4"
LR Min <small>Cuando L, más de 6"</small>	1"	1.1/8"	1.1/4"	1.3/8"	1.1/2"	1.5/8"	1.3/4"	2"	2.1/4"	2.1/2"	2.3/4"	3"	3.1/2"

Figura 52. Especificaciones técnicas del perno [4]

Finalmente se analiza el esfuerzo cortante que soporta el perno mediante la siguiente ecuación.

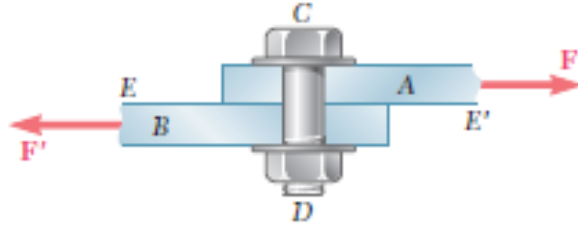


Figura 53. Diagrama de esfuerzos cortantes en el perno por: F. Albán & A. Arias

$$\tau_P = \frac{F}{N_P A_P} \quad (24)$$

Dónde:

τ_P = Esfuerzo cortante ejercido sobre el perno. [MPa]

F = Fuerza cortante aplicada sobre los pernos. [N]

A_P = Área menor del esfuerzo a la tracción del perno. [mm²]

N_P = Numero de pernos.

$$\tau_P = \frac{1925.9}{6 * 43.74}$$

$$\tau_P = 7,34 Pa$$

Comparando el límite de resistencia a la fluencia del perno el cual es de 896MPa y el esfuerzo cortante ejercido sobre el perno, se llega a la conclusión que la resistencia del perno utilizado es muy superior a la del esfuerzo de trabajo por ende nuestro sistema de sujeción resulta ser altamente confiable.

$$896MPa > 7,34Pa$$

CAPITULO III

3. ANÁLISIS DE COSTO Y RENTABILIDAD

El siguiente capítulo presenta el análisis de los costos de construcción de la maquina peletizadora además de su rendimiento en cuanto a productividad, los datos para el análisis de costos se tomaron mediante datos de producción de la maquina mediante un estudio estadístico. Para el estudio de mercado se tomó en cuenta el costo de fabricación del pellet destinado para el consumo de aves.

El análisis se realizó mediante la determinación del VAN y el TIR que genera la implementación del proyecto, al final del capítulo se evalúan estos factores y se determina si la construcción de la maquina peletizadora de balanceados es o no viable.

3.1 Estudio de mercado

Con el desarrollo del presente proyecto de titulación se busca demostrar la viabilidad de invertir en una determinada actividad económica en este caso pellets de balanceado de baja densidad, mediante el proceso de peletizado, cuyo producto pueden ser utilizados en todas las industrias del sector pecuario de Pichincha.

Además, trata de que el riesgo de inversión sea calculado, partiendo del hecho evidente de que cualquier inversión representa un riesgo. Con este estudio no se pretende eliminar el riesgo real que acarrea esta actividad, pero si cuantificar cuán grande o pequeño es el riesgo y hasta cierto punto tratar de minimizarlo.

3.1.1 Estudio de la oferta y la demanda

3.1.1.1 Oferta

La peletización de alimento balanceado ejerce un efecto dramático en el desempeño de los animales, pero el costo de este procesamiento que demanda equipos complejos, energía y capital, eleva el costo del alimento.

3.1.1.2 Demanda

Según estudios de mercado realizados por la corporación nacional de avicultores del Ecuador (CONAVE) se determinó que la demanda de pellets en el país se incrementó de un 4,3% para alimentos balanceados en la industria avícola, debido a factores climáticos tales como el “fenómeno del niño” este año el precio de la materia prima ha variado considerablemente, ocasionando que exista variación de precio en la producción de pellets. [1]

Una vez determinada la oferta local y demandas actuales se puede evidenciar que existe un mercado desatendido el cual pretende ser cubierto en una pequeña parte por la producción de la empresa.

3.1.1.3 Demanda insatisfecha por producción nacional

Permite establecer el balance entre la oferta nacional y la demanda actual del cliente, determinando la brecha existente, la cual fue la primera condición para determinar la realización de este proyecto.

3.1.1.4 Estudio técnico de la máquina peletizadora

El estudio técnico analizará la posibilidad de fabricar los sistemas de transmisión de potencia y del cabezal, en función de un adecuado diseño para una producción óptima de pellets.

3.1.2 Localización del proyecto

El proyecto necesita estar ubicado lo más cerca del lugar de acopio, para evitar incrementos de transporte, de preferencia en una zona industrial por el tipo de transformador que se necesita para utilizar en esta máquina.

El tamaño del proyecto o capacidad instalada se expresará en unidades de producción por año.

3.1.3 Ingeniería del proyecto

Existen varias etapas de la ingeniería que engloban la realización total de la producción de pellets, pero en este análisis se detallará lo relacionado a la producción de pellets en caliente.

3.1.4 Dotación de insumos

El desarrollo del proyecto se realizó de acuerdo a los materiales y partes existentes en el mercado local, con la finalidad que se tenga un normal abastecimiento de los mismos cuando se realice la construcción o una posterior reparación de los sistemas de la máquina.

3.1.5 Identificación del impacto ambiental

Existe la necesidad vital de proteger y preservar el ambiente ya que es, al mismo tiempo, materia prima y hábitat para el futuro desarrollo humano y productivo del país, con lo cual el desarrollo de este proyecto es un gran aporte en beneficio de la causa del cuidado del planeta, ya que en síntesis ecológica estos sistemas mecánicos pueden ser considerados como un reciclador de polímeros.

3.1.6 Personal requerido

El personal que se requerirá para una adecuada puesta en marcha de los sistemas de peletizado se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 17. Personal para operaciones

DESCRIPCIÓN	NIVEL	Nº OPERADORES
Operador de maquinaria	Bachiller	1
Mantenimiento de maquinaria	Bachiller Técnico	1
Control de Calidad	Bachiller	1
Pruebas o Ensayos	Ingeniero	1
y Planificación	TOTAL :	4

Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

3.2 Descripción del proyecto

La peletizadora de balanceados fue pensada para fabricar pellets para distintos fines, sector avícola, sector porcino, sector vacuno y sector acuícola. la maquina consta de una matriz plana intercambiable, de esta forma permite la fabricación de distintos alimentos balanceados con la misma peletizadora.

3.2.1 Características del producto

Tabla 18. Características del producto

	Descripción	Balanceado para aves
	Dimensiones	Ø5mm x 15mm
	Costo	20,50 USD c/qq
	P.V.P.	24 USD c/qq
	Capacidad	2,20 qq/hora

Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

En la Tabla 18 se muestra el pellet empleado para la producción avícola, específicamente es un balanceado destinado para la fase de engorde por lo que sus características deben ser las descritas en la tabla. el costo de producción del este tipo de balanceado es de 22,50 dólares por quintal, este costo incluye el precio de operación de la máquina y los empaques para su manejo. La máquina peletizadora tiene una capacidad de producción de 2,20 quintales por hora, para el análisis se considera que la maquina trabajara 6 horas diarias durante 20 días al mes, dándonos como resultado una cantidad de 264 quintales mensuales

3.2.2 Utilidad bruta y rentabilidad del producto

Mediante el estudio financiero se determinó el costo por quintal, mediante un estudio de mercado se determinó el precio de venta al público y mediante un estudio económico se determinó la utilidad bruta y el nivel de rentabilidad por quintal de balanceado. En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 19. Utilidad y rentabilidad por: F. Albán & A. Arias

Descripción del producto	Costo (\$)	P.V.P (\$)	Utilidad Bruta (\$)	% de Rentabilidad
Balanceado para aves	20,50	24,00	3,50	14,58 %

Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

3.2.3 Inversión inicial

La inversión del proyecto supuso la utilización de varios recursos e insumos necesarios para la construcción. Entre las que se encuentran costos de materiales, costo de maquinaria para la fabricación, costos de pruebas y costos de ingeniería. En la siguiente tabla se detalla de forma general los valores que implican el proyecto.

Tabla 20. Inversión del proyecto

Descripción	Valor [\$]
Materia prima	2500
Costo de fabricación	1200
Logística	100
Costo de pruebas	200
Costo de ingeniería	500
Total = 4500	

Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

3.3 Indicadores de rentabilidad

En esta sección, lo que interesa fundamentalmente es la rentabilidad del proyecto. Por ello, el criterio base para tener una respuesta y tomar una decisión, radica en que el proyecto es rentable si el valor de los rendimientos es mayor al de los recursos empleados.

La viabilidad del proyecto, significativamente depende de los ingresos generados. Por ello los indicadores de rentabilidad a evaluar son:

3.3.1 Valor presente neto, (VPN)

Es la diferencia entre los flujos de los ingresos y egresos a lo largo de un periodo de tiempo, originados por la inversión. Según Pascual y Subías [22], la siguiente es la fórmula para calcular el VPN

$$VPN = \sum_{t=1}^T \frac{C_t}{(1+r)^t} - C_0 \quad (25)$$

Dónde:

C_t =movimiento de fondos

T=horizonte

r=interés

C_o=valor del desembolso inicial.

$$VPN = \frac{12 * 2600}{(1 + 12.5)^{0.7}} - 4500$$

$$VPN = 545.7\$$$

3.3.2 Tasa interna de retorno, (TIR)

Corresponde a la tasa de interés que hace que el VAN de todos los flujos de efectivo sea igual a cero. Pascual y Subías [22], establecen la siguiente fórmula para calcular el TIR.

$$-C_o + \sum_{t=1}^T \frac{F_t}{(1+r)^t} = 0 \quad (26)$$

Dónde:

F_t=movimiento de fondos

T=horizonte

r=interés

C_o=valor del desembolso inicial.

3.3.3 PAY-BACK

Tiempo necesario para recuperar el desembolso inicial.

$$P.p = \frac{\text{Costo Inversión}}{\text{Ingreso Mensual}} \quad (27)$$

3.4 Evaluación de VPN y TIR

La elaboración de la siguiente tabla es muy significativa en la evaluación del proyecto. Cabe señalar que la máquina peletizadora es un activo que genera ingresos financieros. Se considera que la tasa de interés según el Banco Central del Ecuador es de 17,3 [23]. Se plantea un crecimiento anual de un 5%.

Tabla 21. Movimiento de flujo en los 5 primeros años

Año	Inversión	Ingresos	Mantenimiento	Compra de productos	Flujo
0	\$ 4500,00				
1		\$ 114048	\$ 150	\$ 64944	\$ 76586
2		\$ 119750	\$ 150	\$ 68191	\$ 80416
3		\$ 125737	\$ 150	\$ 71601	\$ 84437
4		\$ 132023	\$ 150	\$ 75181	\$ 88658
5		\$ 138624	\$ 150	\$ 78940	\$ 93091
Tasa interna de retorno					135 %
Valor presente neto al 17,3 % de interés					\$ 5278,5

Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

La interpretación de la tasa interna de retorno permite observar que el proyecto sí genera valor debido a que el interés bancario es menor a la TIR, lo que significa que es conveniente invertir en este proyecto.

3.5 Período de retorno (PAY-BACK)

Este cálculo se basa en la utilización de un indicador sencillo, es decir el tiempo necesario para recobrar el desembolso inicial. Por lo tanto, se procede con la fórmula expuesta en la sección anterior

$$P.p = \frac{\text{Costo Inversión}}{\text{Ingreso Mensual}}$$

$$P.p = \frac{4500}{924} = 4.8 \text{ Meses}$$

Entonces, el tiempo de recuperación de la inversión es de aproximadamente 5 meses, el cual se considera aceptable por lo cual se decide invertir en este proyecto.

CAPITULO IV

4. Análisis y Resultados

4.1 Características de calidad

Para garantizar un pellet de calidad es necesario que el producto tenga un porcentaje de humedad no mayor al diez por ciento, además el pellet debe presentar una longitud de 10mm con un diámetro de 5mm.

Se realizó una toma de seis muestras de pellet al azar y se tomó sus medidas dándonos como resultado pellets con las siguientes características.

Tabla 22. Resultados de pruebas, dimensiones.

Muestra	Longitud [mm]	Diámetro [mm]
1	11	5,02
2	9,5	5,00
3	10	4,98
4	9	4,97
5	9	5,01
6	10	5,02

Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

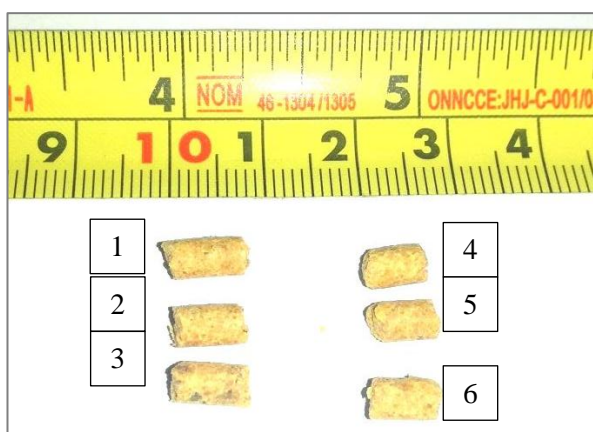


Figura 54. Toma de dimensiones de los pellets. Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

4.2 Pruebas de producción

Para determinar la capacidad de producción de la maquina peletizadora se realizó ensayos con balanceado para aves como base y se varió el porcentaje de humedad de la premezclado.

A continuación se presentan los resultados obtenidos

Tabla 23. Pruebas de peletizado con variación de humedad.

Prueba	Humedad	Observaciones
1	Harina con 20% de H ₂ O	Pellets con baja dureza, se desmoronan al tacto Capacidad de producida 50kg/h
2	Harina con 15% de H ₂ O	Pellets con buena dureza pero dimensiones desiguales Capacidad de producida 100kg/h
3	Harina con 10% de H ₂ O	Pellets con excelente dureza y longitud uniforme Capacidad producida 160kg/h
4	Harina con 5% de H ₂ O	Pellets con muy baja dureza, producto con gran cantidad de harina sin formación Capacidad producida 20kg/h

Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

Las pruebas realizadas dan como resultado que la humedad más óptima para la producción de un pellet de calidad es de diez por ciento de agua, con esta proporción de humedad se logra un pellet con alto grado de rigidez y excelentes condiciones de acabado superficial en su cuerpo, además de obtener las dimensiones requeridas.

Después de haber realizado el diseño y la fabricación de la maquina se analizan los resultados obtenidos para determinar si se cumplieron los requerimientos de producción, calidad del producto y funcionamiento de la máquina.

4.3 Resultados de las pruebas

En la siguiente imagen se puede apreciar el resultado de peletizar una mezcla con excesiva humedad lo cual provoca que los rodillos se saturen de balanceado y la maquina se trabase.



Figura 55. Rodillos después de prueba fallida. Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

Con un porcentaje de humedad del diez por ciento de agua se logró un peletizado uniforme de la mezcla además de obtener una excelente calidad del pellet, como se muestra en la siguiente figura.

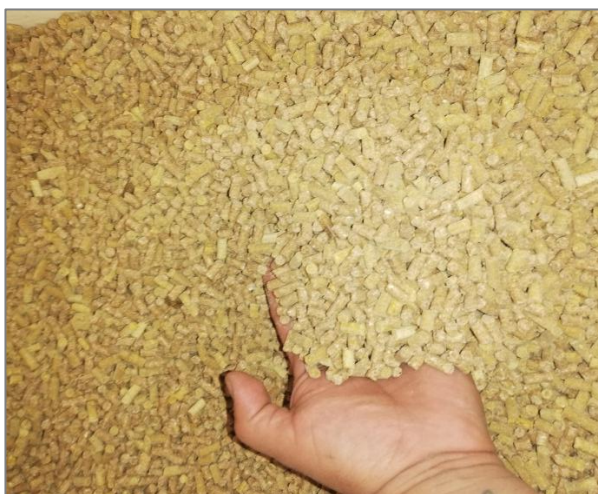


Figura 56. Prueba exitosa de peletizado. Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

4.4 Generalidades de la empresa beneficiaria del proyecto

La empresa a la cual está destinada la maquina tiene como mercado la fabricación a pequeña escala de alimentos balanceados para el sector pecuario de las ciudades de Quito y Cayambe, en la siguiente fotografía se presenta las instalaciones y bodegas de la fábrica.

El recinto donde se implementará la maquina estuvo en construcción a medida que se desarrolló esta tesis, al culminar el proyecto la peletizadora funcionara en el galpón que se observa en la fotografía. su ubicación es en la parroquia de Ascázubi. Para un adecuado manejo de la materia prima y del producto terminado la fábrica cuenta con bodegas en las cuales se almacena de forma organizada los insumos.



Figura 57. Instalaciones donde funcionara la peletizadora y bodegas. Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

4.5 Metodología de elaboración del balanceado en pellets

4.5.1 Ingredientes del balanceado

Para la fase de pruebas se decidió utilizar ingredientes para fabricar balanceado para aves debido a que este tipo de producto es el de mayor comercialización. A continuación, se presentan los ingredientes empleados para la mezcla post-compresión.



Figura 58. Maíz molido y Afrecho de trigo. Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias



Figura 59. Aceite de palma y Sales específicas. Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

4.5.2 Proceso de molido y mezclado

Para el proceso de molido del maíz y la soya se utiliza un molino de martillo el cual reduce la materia prima a partículas adecuadas para ser peletizado. En la siguiente fotografía se observa como el maíz después del proceso del molido pasa por una serie de cernidores los cuales clasifican las partículas del producto.

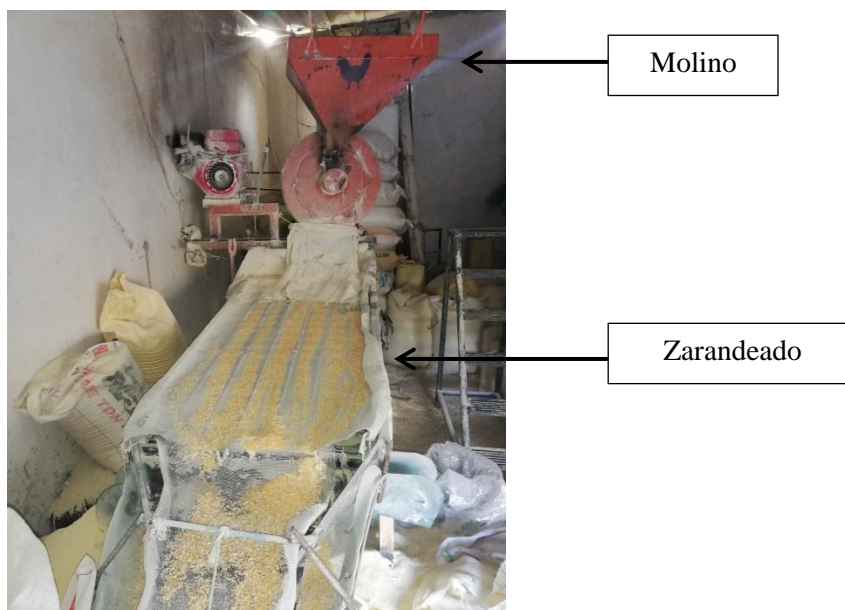


Figura 60. Molino de maíz y sarandeadora. Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

El mezclado de los ingredientes tiene la finalidad de homogenizar el balanceado y humedecer el producto en este caso con aceite de palma. Para ello se emplea una mezcladora industrial.



Figura 61. Mezcladora industrial. Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

4.5.3 Peletizado de la mezcla

Una vez conseguida la homogeneidad en la mezcla del balanceado y humedad adecuada se procede a compactarla en la maquina peletizadora previamente calibrada para el tipo de producto.



Figura 62. Precalentamiento de los rodillos. Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias



Figura 63. Proceso de compresión. Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias



Figura 64. Conformación del balanceado en pellets. Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

Conclusiones

Después de realizar el estudio de la demanda de alimentos balanceados en forma de pellets en la empresa “Distribuidora Cadena” se hace necesaria la adquisición y puesta en marcha de una máquina que elabore balanceados en pellets.

El estudio reveló que la máquina pelletizadora que se adaptaba mejor a las condiciones de producción de la empresa era una de matriz plana giratoria con rodillos estáticos con una capacidad mínima de producción de 100kg/h.

Para cubrir los requerimientos de producción diarios de la máquina se determinó, mediante cálculos, que la pelletizadora necesitaba un motor que tenga como mínimo 30Nm de torque, para lo cual se instaló un motor de combustión estático con una potencia de 16hp.

Las pruebas de fabricación de balanceado dieron como resultado un nivel de producción de 160kg/h de producto, por lo cual se satisface las necesidades iniciales de producción requeridas por la empresa.

El estudio económico revela que la máquina posee un “Pay-Back” o retorno de inversión de 5 meses aproximadamente, por lo cual el proyecto resulta viable.

Recomendaciones

Para mejorar el flujo del balanceado a través de las perforaciones de la matriz plana se recomienda mejorar la rugosidad del taladrado mediante el uso de un escariador.

Para disminuir las vibraciones provocadas por el motor es recomendable el uso de elastómeros en los puntos de apoyo de la máquina.

Los engranajes cónicos de dientes rectos pueden ser sustituidos por engranajes helicoidales lo cual disminuye las vibraciones de la máquina y mejora la eficiencia al momento de transmitir el torque proveniente del motor.

Bibliografía

- [1] K. C. Behnke, "FACTORS INFLUENCING PELLET QUALITY," Department of Grain Science and Industry, Manhattan, Kansas, USA, 2011.
- [2] J.K., "Effect of particle size and pelleting on growth performance, nutrient digestibility, stomach morphology," *Agropecuaria Journal*, vol. 73, pp. 757-763, 1995.
- [3] K. C. Behnke, *El arte del peletizado*, 2010.
- [4] A. F. I. Association, *Feed Manufacturing Technology*, 2005.
- [5] T. S. Winowiski, *Pellet quality in Animal Feeds.*, 1995.
- [6] C.R.Stark, *Effect of diet thickness and pellet quality.*, 2010.
- [7] E. Bortone D, "Universidad Autonoma de Nuevo Leon," 25 Mayo 2012. [Online]. Available: http://universidad.uanl.mx/utillerias/nutricion_acuicola/VI/archivos/A25.pdf. [Accessed 07 Noviembre 2018].
- [8] E. Diaz, "Engormix," 13 Octubre 2011. [Online]. Available: <https://www.engormix.com/balanceados/foros/alimento-peletizado-ponedoras-t11694/>. [Accessed 08 Noviembre 2018].
- [9] A. M. Amanda Zhou, "Engormix," 25 Septiembre 2013. [Online]. Available: <https://www.engormix.com/balanceados/articulos/tecnologia-peletizado-ganaderia-lechera-t30390.htm>. [Accessed 11 Noviembre 2018].
- [10] C. V. P. Jorge Tay Martua, "Actualidad Porcina," 19 Enero 2017. [Online]. Available: <http://www.actualidadporcina.com/articulos/tamano-de-pellet-en-dietas-de-pre-y-postdestete-de-lechones.html>. [Accessed 11 Noviembre 2018].
- [11] J. A. Lopez, "Cunicultura Peru," [Online]. Available: <http://www.cuniculturaperu.com/2011/05/el-alimento-balanceado-o-conejina.html>. [Accessed 11 Noviembre 2018].
- [12] A. R. J. Morten Tony Hansen, *English Handbook for Wood Pellet Combustion*, Denmark: EUBIA – European Biomass Industry Association, 2009.
- [13] INEN, *NORMATIVA TECNICA SANITARIA PARA ALIMENTOS PROCESADOS*, Quito, 2017.
- [14] E. Diaz, "Engormix," 13 Julio 2012. [Online]. Available: <https://www.engormix.com/balanceados/foros/temperaturas-optimas-enfriado-pellets-t15660/>. [Accessed 22 Noviembre 2018].
- [15] G. R. Jiménez, *SOLIDWORKS, Manual*, Mexico: Anaya, 2018.

- [16] R. G., Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, Mexico: Mc. Graw Hill, 2009.
- [17] C. J. N. y. C. Lipson, Allowable Working Stresses, Nueva York: ASME Handbook, 1953.
- [18] NTN, Catalogo General de Rodamientos, EEUU, 2017.
- [19] J. D., Engineering Design and Graphics with SolidWorks, Madrid, 2015.
- [20] N. M. PIRIS, CIENCIA DE MATERIALES PARA INGENIEROS, Mexico: PRENTICE-HALL , 2015.
- [21] I. (. American Welding Society, AWS D1.3 Structural Welding Code-Sheet Steel, EEUU: Inc. (AWS) , 2018, sexta edición.
- [22] R. Pascual and A. Subías, Planificación y rentabilidad de proyectos industriales, Barcelona: Marcombo .
- [23] Banco Central del Ecuador, Mayo 2018. [Online]. Available: <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/SectorMonFin/TasasInteres/TasasVigentes052018.htm>.
- [24] Adeagua, "Adeagua's Blog," [Online]. Available: <https://adeagua.wordpress.com/2008/09/02/aprovechamiento-energetico-de-la-biomasa-del-olivar-fabricacion-de-pellets/>. [Accessed 28 02 2019].

Anexo 1

Fotografías Construcción



Fotografía # 1. Construcción de la estructura. Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias



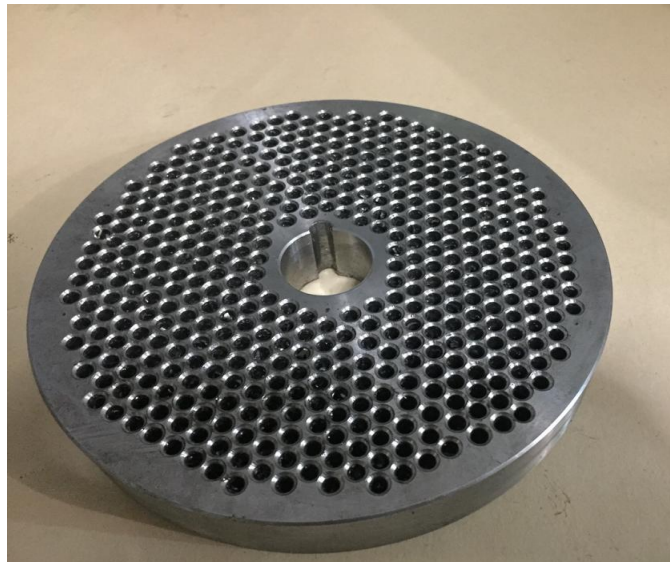
Fotografía # 2. Elaboración de la caja de engranajes. Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias



Fotografía # 3. Elaboración de los engranajes cónicos. Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias



Fotografía # 4. Elaboración del porta rodamientos. Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias



Fotografía # 5. Matriz plana. Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias



Fotografía # 6. Tapa de la caja de engranajes. Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias



Fotografía # 7. Peletizadora durante el proceso de ensamblado. Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias



Fotografía # 8. Peletizadora durante el proceso de acabados. Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias



Fotografía # 9. Instalación del motor en la máquina peletizadora. Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias



Fotografía # 10. Pruebas realizadas en la máquina. Elaborado por.: Fernando Albán & Ángel Arias

Anexo 2

Planos